

**TUGAS AKHIR - RC 095501**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG  
FAKULTAS TARBIYAH UNIVERSITAS ISLAM  
NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
MENGUNAKAN SISTEM RANGKA PEMIKUL  
MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**KHOLIF NOVIANTI**  
3113030111

**SIGIT PRIONGGO**  
3113030114

Dosen Pembimbing  
Nur Achmad Husin, ST, MT  
NIP. 19720115 199802 1 001

PROGRAM STUDI D III TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

**FINAL PROJECT APPLIED - RC 095501**

**STRUCTURAL DESIGN OF TARBIYAH  
FACULTY OF SUNAN AMPEL ISLAMIC STATE  
UNIVERSITY BUILDING SURABAYA USING  
INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME  
SYSTEM**

**KHOLIF NOVIANTI**  
3113030111

**SIGIT PRIONGGO**  
3113030114

**Counsellor Lecture**  
**Nur Achmad Husin, ST, MT**  
**NIP. 19720115 199802 1 001**

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT**  
**Civil Engineering and Planning Faculty**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

**“Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Tarbiyah  
Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA)  
Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah  
(SRPMM)”**

**Disusun oleh:**

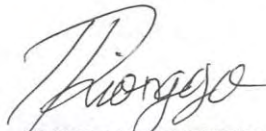
**MAHASISWA I**



**KHOLIF NOVIANTI.**

**NRP. 3113030111**

**MAHASISWA II**



**SIGIT PRIONGGO.**

**NRP. 3113030114**

**Disetujui Oleh:**

**DOSEN PEMBIMBING**



**14 JUL 2016**

**NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.**

**NIP. 19720115 199802 1 001**

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : KHOLIF NOVIANTI / SIGIT PRIONGGO  
Nrp. : 3113030111 / 3113030114  
Jurusan / Fak. : D3 TEKNIK SIPIL / FTSP - ITS  
Alamat kontak : .....  
a. Email : kholidnovianti15@gmail.com / sigitprionggo@gmail.com  
b. Telp/HP : 085230994371 / 0895325200991

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalti-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS TARBIYAH UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA (UNSA) DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

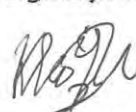

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

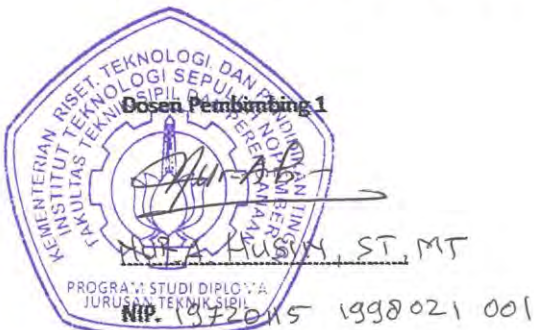
Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal :

Yang menyatakan,

   
KHOLIF NOVIANTI / SIGIT PRIONGGO

Nrp. 3113030111 / 3113030114



**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS  
TARBIYAH UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN  
AMPEL SURABAYA MENGGUNAKAN SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)”**

**Dosen Pembimbing** : Nur Achmad Husin, ST, MT

**NIP** : 19720115 199802 1 001

**Mahasiswa 1** : Kholif Novianti  
3113030111

**Mahasiswa 2** : Sigit Prionggo  
3113030114

**Jurusan** : Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS

**ABSTRAK**

Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya berada di Jalan Achmad Yani, Jemursari, Surabaya. Berdasarkan hasil Standart Penetration test (SPT) diketahui bahwa gedung dibangun diatas kelas situs tanah sedang dan termasuk dalam kategori desain seismik C sehingga perencanaan struktur menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

Perhitungan struktur dan gempa mengacu pada peraturan yang berlaku. Proses dalam perhitungan struktur meliputi analisa pembebanan, permodelan struktur, analisa gaya dalam, perhitungan penulangan, serta cek persyaratan elemen struktur. Sedangkan untuk perhitungan struktur atap dilakukan perhitungan

sambungan. Untuk analisa gempa dalam perencanaan ini digunakan analisa statik ekivalen.

Dari hasil perhitungan, dimensi struktur atas terdiri dari pelat lantai dengan tebal 12 cm, gording profil LLC 150.50.20.3,2, pengantung gording Ø10 mm, ikatan angin Ø10 mm, profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9, dimensi balok anak (B2) 30 cm x 50 cm, dimensi balok induk (B1) 40 cm x 60 cm, dimensi kolom 50 cm x 50 cm, dimensi sloof 40 cm x 60 cm, serta struktur bawah menggunakan borpile diameter 30 cm dan kedalaman 10 m.

Kata kunci: Sisten Rangka Pemikul Momen Menengah

**“STRUCTURAL DESIGN OF TARBIYAH FACULTY OF  
SUNAN AMPEL ISLAMIC STATE UNIVERSITY  
BUILDING SURABAYA USING INTERMEDIATE  
MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM”**

**Counsellor Lecturer** : Nur Achmad Husin, ST, MT  
**NIP** : 19720115 199802 1 001  
**Student 1** : Kholif Novianti  
3113030111  
**Student 2** : Sigit Prionggo  
3113030114  
**Departement** : Diploma III Civil Engineering

**ABSTRACT**

Tarbiyah Faculty of Sunan Ampel Islamic State University Surabaya is located in Jalan Ahmad Yani, Jemursari, Surabaya. Based on the results of Standard Penetration Test (SPT) note that the building was built on the site classes are being ground and included in the seismic design category C so that the structural design use Intermediate Moment Resisting Frame System.

Calculation of structures and earthquake refers to the regulations. Process in the structure calculations are loading analysis, structural modeling, force analysis, calculation of reinforcement, as well as check the requirements of structural elements. As for the roof structure is the calculation of gording,

rafter, gording cable, wind bonding and connections. For analysis of the earthquake of this design using equivalent static analysis.

From the results of calculation, dimension of upper structure consist of floor plate in 12 cm thickness, LLC 150.50.20.3,2 gording profile, Ø10 mm gording cable, Ø10 mm wind bonding, WF 300.150.6,5. 9 roof profile, edges beam dimension (B2) 30 cm x 50 cm, beam dimension (B1) 40 cm x 60 cm, column 50 cm x 50 cm, tie beam dimension 40 cm x 60cm, while the bottom structure using borpile diameter 30 cm and depth of 10 m

Keyword : Intermediate moment resisting frame system



## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah .....	5
2.1.1 Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) .....	9
2.1.2 Balok.....	9
2.1.3 Kolom.....	10
2.1.4 Kekuatan Geser.....	11
2.2 Hubungan Balok Kolom SRPMM.....	13
2.3 Pemisahan Struktur.....	15

BAB III METODOLOGI .....	17
3.1 Pengumpulan Data .....	18
3.2 Preliminary Design Beton .....	19
3.3 Analisis Pembebanan Struktur .....	19
3.4 Preliminary Design Baja .....	20
3.5 Permodelan Struktur.....	20
3.6 Analisa Gaya Dalam.....	21
3.7 Perhitungan Penulangan Elemen Struktur Beton .....	22
3.8 Cek Persyaratan Elemen Struktur Beton .....	22
3.9 Perhitungan Sambungan Elemen Struktur Baja .....	23
3.10 Cek Persyaratan Elemen Struktur Baja .....	23
3.11 Gambar Perencanaan.....	24
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur .....	27
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	27
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom .....	30
4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof.....	32
4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat .....	33
4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga .....	42
4.2 Perencanaan Struktur Atap Baja.....	46
4.2.1 Perhitungan Gording .....	46
4.2.2 Perhitungan Penggantung Gording.....	55
4.2.3 Perhitungan ikatan Angin.....	60
4.2.4 Perhitungan Kuda-Kuda .....	65

4.2.5 Perhitungan Kolom Pendek Baja.....	76
4.2.6 Perhitungan Pelat Landas .....	84
4.2.7 Perhitungan Sambungan .....	89
4.3 Pembebanan Struktur.....	104
4.3.1 Pembebanan Pelat.....	104
4.3.2 Pembebanan Tangga.....	105
4.3.3 Pembebanan Dinding.....	106
4.3.4 Pembebanan Gempa .....	106
4.3.5 Pembebanan Angin.....	139
4.3.5 Periksa Dilatasi Bangunan.....	143
4.4 Perhitungan Struktur Sekunder.....	145
4.4.1 Perhitungan Penulangan Pelat .....	145
4.4.2 Perhitungan Penulangan Tangga .....	159
4.4.3 Perhitungan penulangan Pelat Bordes .....	165
4.4.4 Perhitungan Penulangan Balok Anak .....	170
4.4.5 Perhitungan Penulangan Balok Bordes .....	215
4.5 Perhitungan Struktur Primer.....	257
4.5.1 Perhitungan Penulangan Sloof.....	257
4.5.2 Perhitungan Penulangan Balok Induk .....	284
4.5.3 Perhitungan Penulangan Kolom .....	339
4.6 Perhitungan Pondasi .....	373
4.6.1 Perhitungan Pondasi Tipe 1 .....	378
4.6.2 Perhitungan Pondasi Tipe 2 .....	394
4.6.3 Perhitungan Pondasi Tipe 3 .....	411

4.6.4 Penulangan Borpile .....	426
BAB V PENUTUP .....	435
5.1 Kesimpulan.....	435
5.2 Saran.....	437
DAFTAR PUSTAKA.....	439

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kuat Geser Balok.....	12
Gambar 3.2 Kuat Geser Kolom .....	13
Gambar 3.3 Gaya-gaya pada batang-batang di suatu pertemuan	13
Gambar 3.4 Geser pada suatu pertemuan balok ke kolom .....	14
Gambar 4. 1 Dimensi Penampang Balok Induk .....	28
Gambar 4. 2 Dimensi Penampang Balok Anak .....	29
Gambar 4. 3 Dimensi Penampang Balok Kantilever .....	30
Gambar 4. 4 Dimensi Penampang Kolom .....	31
Gambar 4. 5 Dimensi Penampang sloof .....	32
Gambar 4. 6 Denah Pelat tipe A .....	34
Gambar 4. 7 Balok B1 As A' (30/50).....	35
Gambar 4. 8 Balok B1 As 1'(30/50).....	37
Gambar 4. 9 Balok B1 As A (40/60).....	38
Gambar 4. 10 Balok B1 As 1 (40/60).....	40
Gambar 4. 11 Denah penulangan tangga.....	43
Gambar 4. 12 Tebal efektif tangga .....	45
Gambar 4. 13 Flowchart Perhitungan Gording.....	46
Gambar 4. 14 Profil Gording LLC 150. 50 20.3,2 .....	47
Gambar 4. 15 Pembebanan pada Gording .....	48
Gambar 4. 16 Mekanika pada Gording .....	50
Gambar 4. 17 Flowchart Perhitungan Penggantung Gording.....	55

Gambar 4. 18 Perencanaan penggantung gording.....	56
Gambar 4. 19 Flowchart Perhitungan Ikatan Angin.....	60
Gambar 4. 20 Bidang Kerja Ikatan Angin.....	61
Gambar 4. 21 Flowchart Perhitungan Kuda-Kuda .....	66
Gambar 4. 22 Flowchart Pertitungan Kolom Baja .....	77
Gambar 4. 23 Beban yang bekerja pada Pelat Landas .....	85
Gambar 4. 24 Parameter perhitungan pelat landas .....	85
Gambar 4. 25 Beban pada sambungan Kuda- kuda .....	90
Gambar 4. 26 Panjang pengelasan .....	91
Gambar 4. 27 Perencanaan Baut .....	93
Gambar 4. 28 Kondisi Fraktur 1 sambungan Baut .....	95
Gambar 4. 29 Kondisi Fraktur 2 sambungan Baut .....	96
Gambar 4. 30 Panjang pengelasan .....	99
Gambar 4. 31 Perencanaan baut .....	101
Gambar 4. 32 Kondisi Fraktur 1 sambungan Baut .....	102
Gambar 4. 33 Kondisi Fraktur 2 sambungan Baut .....	103
Gambar 4. 34 Distribusi Berat Bangunan tiap Lantai .....	107
Gambar 4. 35 Joint yang menerima gaya gempa .....	123
Gambar 4. 36 Flowchart Penulangan Plat .....	146
Gambar 4. 37 Detail Pelat lantai Tipe A .....	147
Gambar 4. 38 Flowchart Penulangan Tangga .....	160
Gambar 4. 39 Denah Pembalokan .....	170
Gambar 4. 40 Tinggi Efektif Balok.....	172
Gambar 4. 41 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM..	176

Gambar 4. 42 Luasan Acp dan Pcp .....	176
Gambar 4. 43 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMM.....	201
Gambar 4. 44 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart .....	211
Gambar 4. 45 Detail Penulangan Balok Anak (B2) .....	214
Gambar 4. 46 Tampak Portal As C.....	215
Gambar 4. 47 Tinggi Efektif balok Bordes .....	216
Gambar 4. 48 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM..	220
Gambar 4. 49 Luasan Acp dan Pcp .....	220
Gambar 4. 50 Gaya Geser Balok SRPMM.....	244
Gambar 4. 51 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart .....	254
Gambar 4. 52 Detail Penulangan Balok Bordes (BB) .....	256
Gambar 4. 53 Denah Sloof .....	257
Gambar 4. 54 Tinggi efektif Sloof.....	259
Gambar 4. 55 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM..	262
Gambar 4. 56 Luasan Acp dan Pcp .....	262
Gambar 4. 57 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMM.....	270
Gambar 4. 58 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart .....	280
Gambar 4. 59 Detail Penulangan Sloof (S1) .....	283
Gambar 4. 60 Flowchart Peulangan Torsi Balok.....	285
Gambar 4. 61 Flowchart Penulangan Lentur Balok .....	287
Gambar 4. 62 Flowchart Penulangan Geser Balok.....	289

Gambar 4. 63 <i>Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM</i> ..	300
Gambar 4. 64 Luasan Acp dan Pcp .....	300
Gambar 4. 65 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMM.....	326
Gambar 4. 66 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart .....	336
Gambar 4. 67 Detail Penulangan Balok induk .....	338
Gambar 4. 68 Flowchart Penulangan Kolom .....	342
Gambar 4. 69 Flowchart Penulangan Geser Kolom.....	344
Gambar 4. 70 Denah Kolom yang ditinjau.....	345
Gambar 4. 71 Diagram P-M PCA COL .....	365
Gambar 4. 72 Output Momen PCA COL .....	366
Gambar 4. 73 Desain Untuk Geser Kolom.....	367
Gambar 4. 74 Flowchart Perhitungan Pondasi .....	375
Gambar 4. 75 Mekanika gaya pada poer arah X .....	405
Gambar 4. 76 Mekanika gaya pada poer arah Y .....	408
Gambar 4. 77 Mekanika gaya pada poer arah X .....	421
Gambar 4. 78 Mekanika gaya pada poer arah Y .....	424



## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Beban Angin pada Penggantung gording .....	57
Tabel 4. 2 Beban Angin pada ikatan Angin.....	62
Tabel 4. 3 Berat Lantai 1 Bangunan 1 .....	107
Tabel 4. 4 Berat Lantai 2 Bangunan 1 .....	108
Tabel 4. 5 Berat Lantai 3 Bangunan 1 .....	109
Tabel 4. 6 Berat Lantai 4 Bangunan 1 .....	110
Tabel 4. 7 Berat Lantai Atap Bangunan 1 .....	111
Tabel 4. 8 Berat Lantai 1 Bangunan 2 .....	112
Tabel 4. 9 Berat Lantai 2 Bangunan 2 .....	113
Tabel 4. 10 Berat Gempa Lantai 3 Bangunan 2.....	114
Tabel 4. 11 Berat Lantai 4 Bangunan 2.....	115
Tabel 4. 12 Berat Lantai atap Bangunan 2 .....	116
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Berat tiap Lantai Bangunan 1 .....	117
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Berat tiap Lantai Bangunan 2 .....	117
Tabel 4. 15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.....	117
Tabel 4. 16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik .....	118
Tabel 4. 17 Nilai N-SPT .....	118
Tabel 4. 18 Gaya gempa lateral ( $F_x$ ) Bangunan 1.....	121
Tabel 4. 19 Gaya gempa lateral ( $F_x$ ) Bangunan 2.....	121

Tabel 4. 20 Pusat massa, pusat kekakuan, eksentrisitas, dan momen yang ditimbulkan pada Bangunan 1 .....	122
Tabel 4. 21 Pusat massa, pusat kekakuan, eksentrisitas, dan momen yang ditimbulkan pada Bangunan 1 .....	122
Tabel 4. 22 Gaya gempa tiap joint Lantai 1 Bangunan 1 .....	124
Tabel 4. 23 Gaya gempa tiap joint Lantai 2 Bangunan 1 .....	126
Tabel 4. 24 Gaya gempa tiap joint Lantai 3 Bangunan 1 .....	128
Tabel 4. 25 Gaya gempa tiap joint Lantai 4 Bangunan 1 .....	130
Tabel 4. 26 Gaya gempa tiap joint Lantai Atap Bangunan 1 ....	132
Tabel 4. 27 Gaya gempa tiap joint Lantai 1 Bangunan 2 .....	134
Tabel 4. 28 Gaya gempa tiap joint Lantai 2 Bangunan 2 .....	135
Tabel 4. 29 Gaya gempa tiap joint Lantai 3 Bangunan 2 .....	136
Tabel 4. 30 Gaya gempa tiap joint Lantai 4 Bangunan 2 .....	137
Tabel 4. 31 Gaya gempa tiap joint Lantai Atap Bangunan 2 ...	138

## DAFTAR NOTASI

$C$	= momen negatif pada joint balok kolom (Nmm)
$C_d$	= faktor Pembesaran defleksi
$C_s$	= koefisien respons gempa
$E$	= pengaruh beban gempa
$F_a$	= koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
$f_c'$	= kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
$f_y$	= kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa)
$F_v$	= koefisien situs untuk perioda panjang
$F_{vy}$	= kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
$F_{ys}$	= kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)
$h$	= tinggi struktur (m)
$h_n$	= Bentang bersih kolom
$I_e$	= faktor keutamaan
$L_n$	= Bentang bersih balok
$M_u$	= Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
$M_n$	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
$M_1$	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
$M_2$	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada Komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
$M_{nl}$	= momen ujung kiri (Nmm)
$M_{nr}$	= momen ujung kanan (Nmm)
$R$	= koefisien modifikasi respons
$R$	= beban air hujan
$S$	= Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan (N)
$S_1$	= parameter percepatan respons spektral MCE dari pete gempa pada periode pendek

- $S_{M1}$  = parameter percepatan respons spektral MCE dari pete gempa pada periode 1 detik  
 $S_{D1}$  = parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik  
 $S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral pada periode pendek  
 $S_s$  = parameter percepatan respons spektral MCE dari pete gempa pada periode 1 detik  
 $T$  = momen positif pada joint balok kolom (Nmm)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perencanaan struktur merupakan suatu proses desain berdasarkan peraturan-peraturan yang berlaku. Perencanaan struktur dilakukan agar menghasilkan suatu gedung yang kuat, aman, dan ekonomis. Secara umum, struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas berupa pelat lantai, balok, dan kolom serta struktur bagian bawah berupa pondasi dan sloof. Struktur gedung tersebut haruslah dirancang agar memberikan jaminan keselamatan penghuni gedung maka dari itu gedung yang direncanakan tersebut harus memenuhi standar salah satunya bangunan tahan gempa sesuai dengan SNI-1726-2012.

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, ada beberapa sistem struktur yang dapat diterapkan dalam bangunan untuk menahan gempa, salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Di dalam SRPM ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik C, dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

Pada tugas akhir ini, akan direncanakan Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA) dengan metode SRPMM karena termasuk dalam KDS C. SRPMM adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponennya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial sesuai dengan SNI-2847-2013. Gedung ini berlokasi di Surabaya dengan ketinggian 4 lantai dengan atap baja sesuai dengan SNI-1729-2015. Dalam SNI

1726-2012 dijelaskan bahwa semua bagian struktur harus didesain dan dibangun untuk bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya gempa kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari benturan yang merusak. Oleh karena itu struktur Gedung Tarbiyah yang memiliki denah berbentuk L direncanakan memiliki dilatasi pada lokasi kritis dengan mempertimbangkan perpindahan translasi maupun rotasi pada struktur, termasuk pembesaran torsi.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang dihadapi dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara menghitung dan merencanakan Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA) dengan menggunakan metode SRPMM.
2. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah

1. Perhitungan beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan statik ekuivalen
2. Perencanaan ini hanya membahas struktur dan tidak membahas manajemen konstruksi, analisis biaya maupun segi arsitektural
3. Perhitungan hanya meninjau dua portal, portal memanjang dan melintang

### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah

1. Dapat menghasilkan perhitungan struktur dan gambar teknik dari Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA) dengan menggunakan SRPMM

2. Dapat menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah

1. Untuk mendapatkan suatu perencanaan bangunan gedung yang mampu menahan gempa di Surabaya
2. Untuk menerapkan semua ilmu yang berkaitan dengan teori dan perencanaan struktur yang diperoleh selama bangku kuliah dengan data yang ada di lapangan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Di dalam tinjauan pustaka berikut ini akan dijelaskan mengenai teori yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA) dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah agar dapat memenuhi kriteria kekuatan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Peraturan terkait yang digunakan dalam perhitungan struktur Gedung Fakultas Tarbiyah UINSA ini adalah :

1. SNI 03-2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
2. SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung
3. SNI 03-1729-2015 tentang Persyaratan Baja Struktural Untuk Bangunan Gedung
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)

#### **2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah**

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, ada beberapa sistem struktur yang dapat diterapkan dalam bangunan untuk menahan gempa, salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Di dalam SRPM ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang digunakan untuk Kategori Desain

Seismik C, dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

Pada perencanaan Gedung Fakultas Tarbiyah UINSA Surabaya ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah karena berdasarkan data SPT termasuk dalam kategori desain seismik C. Dalam penentuan kategori desain seismik, bila  $S_1 < 0,75$ , maka diijinkan untuk ditentukan pada tabel 6 SNI 03-1726-2012. Dimana berlaku ketentuan dibawah:

- a. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan 7.8.2.1 adalah kurang dari  $0,8T_s$ . Dimana  $T_a$  pada pasal 7.8.2.1 ditentukan dari persamaan :

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan :

$h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.1.1 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$X$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sebagai alternatif diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistempenahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3m:

$$T_a = 0,1N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat

- b. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari  $T_s$ .
- c. Koefisien respons seismik,  $C_s$ , ditentukan berdasarkan persamaan 22, yaitu :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai persamaan 22 tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dan  $C_s$  harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Setelah memenuhi ketentuan diatas, maka untuk mengetahui kategori desain seismik dalam tabel 6 SNI 03-1726-2012 harus dihitung nilai parameter percepatan spektral desain  $S_{DS}$ . Nilai  $S_{DS}$  ditentukan berdasarkan faktor keutamaan dan kategori resiko, wilayah gempa, dan klasifikasi situs.

#### 1. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 SNI 03-1726-2012 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus

dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  pada Tabel 2 SNI 03-1726-2012. Perencanaan gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya sesuai fungsinya sebagai sarana pendidikan termasuk dalam kategori resiko 4 dan faktor keutamaan  $I_e$  sebesar 1,5.

## 2. Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3, SNI 03-1726-2012 berdasarkan data SPT lapisan 30 m paling atas dan didapatkan klasifikasi situs berupa SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus). Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Negeri Sunan Ampel Surabaya klasifikasi situs tanahnya termasuk dalam tanah sedang (SD) dengan hasil N SPT berkisar diantara 15-50.

Setelah mengetahui klasifikasi situs, maka perlu untuk menentukan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget,  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ .

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Dimana  $F_a$  dan  $F_v$  adalah koefisien situs yang ditentukan berdasarkan tabel 4 dan 5 SNI 03-1726-2012, sedangkan  $S_s$  dan  $S_1$  adalah parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek dan perioda 1,0 detik yang didapatkan dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010.  $S_s$  dan  $S_1$  dalam Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010 disesuaikan dengan perencanaan gempa 500 tahun, 1000 tahun, dan 2500

tahun. Untuk perencanaan ini digunakan gempa rencana 500 tahun sehingga didapatkan nilai  $S_s$  sebesar 0,3 dan  $S_1$  sebesar 0,1.

Jadi didapatkan nilai  $S_{DS}$  yang ditentukan sebesar dua pertiga dari  $S_{MS}$  dan  $S_{D1}$  sebesar dua pertiga dari  $S_{M1}$ .

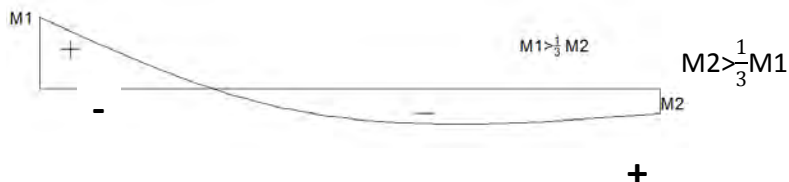
### 2.1.1 Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Berdasarkan SNI-03-2847-2013 pasal 21.3.2, bila gaya tekan aksial terfaktor,  **$P_u$** , untuk komponen struktur tidak melebihi  **$(A_g f'_c / 10)$**  detail penulangan pada komponen struktur rangka harus memenuhi ketentuan-ketentuan 21.3.4 tentang balok. Bila  $P_u$  lebih besar, detail tulangan rangka harus memenuhi 21.3.5 tentang kolom. Bila sistem slab dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem penahan gaya gempa, detail tulangan pada sembarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh E harus memenuhi pasal 21.3.6 tentang slab dua arah tanpa balok.

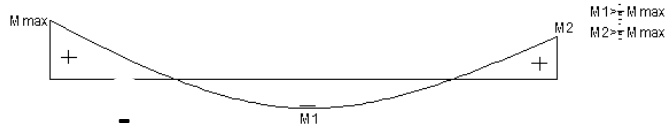
### 2.1.2 Balok

Perhitungan struktur balok pada sistem rangka pemikul momen menengah harus memperhitungkan ketentuan sebagai berikut

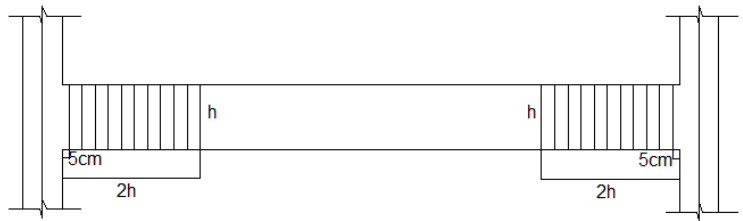
1. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint.



2. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.



3. Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan tidak kurang dari  $2h$  diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.



4. Spasi tulangan tidak boleh lebih kecil dari:
- $d/4$
  - delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi.
  - 24 kali diameter batang tulangan sengkang.
  - 300mm.
5. Sengkang harus dipastikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang balok

### 2.1.3 Kolom

- a. Kolom harus ditulangi secara spiral sesuai 7.10.4 atau harus memenuhi 21.3.5.2 hingga 21.3.5.4. Subpasal

21.3.5.5 berlaku untuk semua kolom, dan 21.3.5.6 berlaku untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus.

- b. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi  $s_0$  sepanjang  $l_0$  diukur dari muka joint. Spasi  $s_0$  tidak boleh lebih kecil dari:

- Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- 24 kali batang tulangan begel
- Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- 300mm

Panjang  $l_0$  tidak boleh lebih kecil dari:

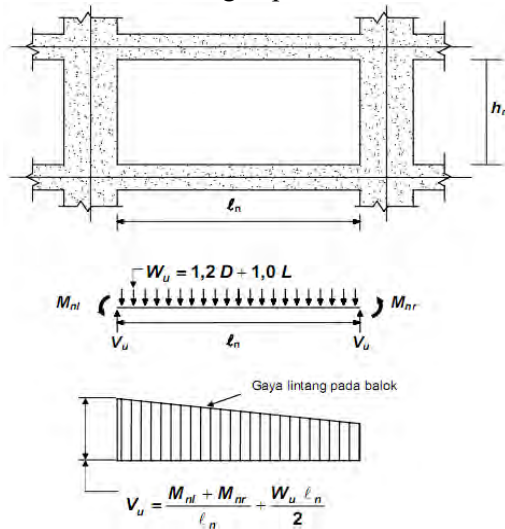
- Seperenam bentang bersih kolom
- Dimensi penampang maksimum kolom
- 450 mm

#### 2.1.4 Kekuatan Geser

Dalam perencanaan SRPMM kuat geser rencana balok yang menahan pengaruh gaya gempa E tidak ditentukan berdasarkan hasil analisa struktur, melainkan berdasarkan kapasitas momen tulangan dan beton yang terpasang yang ditambahkan dengan kombinasi beban. Hal ini karena keruntuhan geser lebih berbahaya dari keruntuhan lentur sehingga balok dipaksa runtuh akibat lentur terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur, kuat geser tersebut tidak boleh kurang dari :

- a. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan  $M_n$  balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban disain yang melibatkan E, dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh

tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk disain tahan gempa.

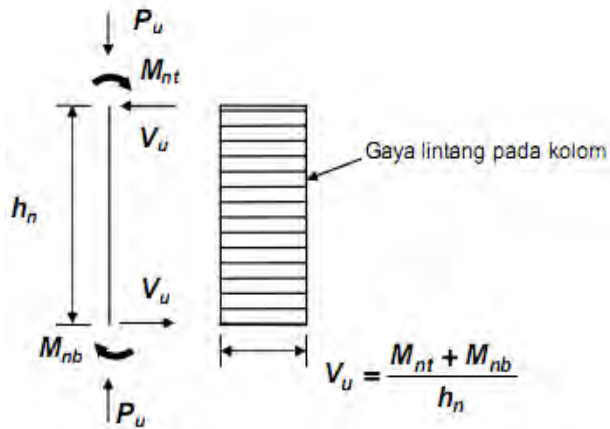


**Gambar 3.1 Kuat Geser Balok**

Kuat geser rencana kolom yang menahan pengaruh gaya gempa E tidak boleh kurang dari:

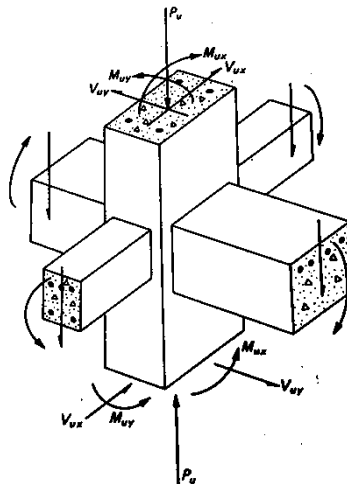
- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik . Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban disain yang melibatkan E, dengan E ditingkatkan oleh  $\Omega_0$ .



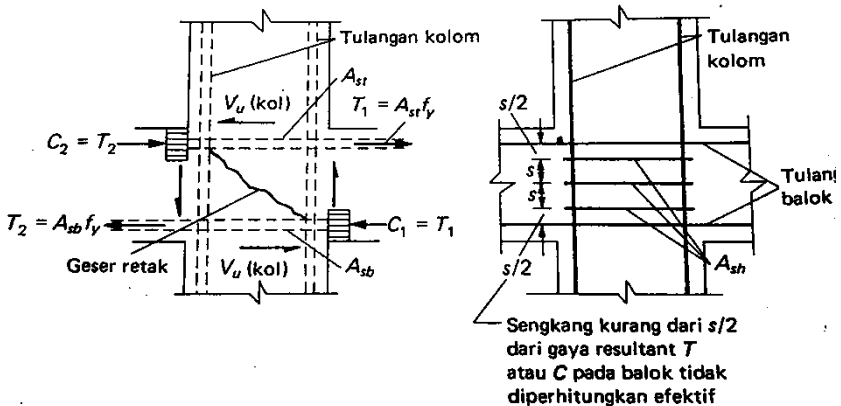


Gambar 3.2 Kuat Geser Kolom

## 2.2 Hubungan Balok Kolom SRPMM



Gambar 3.3 Gaya-gaya pada batang-batang di suatu pertemuan



**Gambar 3.4 Geser pada suatu pertemuan balok ke kolom**

Hubungan balok kolom harus direncanakan terhadap semua macam gaya yang ungkin bekerja: gaya aksial, momen lentur, torsi dan geser. Suatu titik pertemuan dimana balok-balok ditumpukan pada semua sisi kolom diperlihatkan dalam Gambar.3.

Pada Gambar 3, gaya  $T_1$  dan  $C_1$  mewakili momen negatif pada ujung balok yang berada di sebelah kanan, gaya  $T_2$  dan  $C_2$  mewakili momen positif pada ujung balok sebelah kiri, gaya-gaya  $V_u$  pada kolom mewakili geser pada kolom di luar hubungan. Geser dalam hubungan yang berpotensi menimbulkan retak geser dapat dinyatakan dengan :

$$V_u = T_1 + T_2 - V_{u(kolom)} \text{ atau } V_u = f_y A_{st} + f_y A_{sb} - V_{u(kolom)}$$

Setelah mendapatkan gaya geser  $V_u$  di dala hubungan, geser ini kemudian dibagi dalam luas geser efektif  $A_{cv}$  dan dengan faktor reduksi kekuatan  $\phi$  untuk geser sehingga memberikan tegangan geser nominal  $V_n$ .

### 2.3 Pemisahan Struktur

Semua bagian struktur harus didesain dan dibangun untuk bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya gempa kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari benturan yang merusak.

Pemisahan harus dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum ( $\delta_M$ ).  $\delta_M$  harus dihitung pada lokasi kritis dengan mempertimbangkan perpindahan translasi maupun rotasi pada struktur, termasuk pembesaran torsi (bila ada), dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$\delta_M = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e}$  dengan  $\delta_{max}$  adalah perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis.

Struktur-struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar  $\delta_{MT}$  yang dihitung dari persamaan dibawah ini:

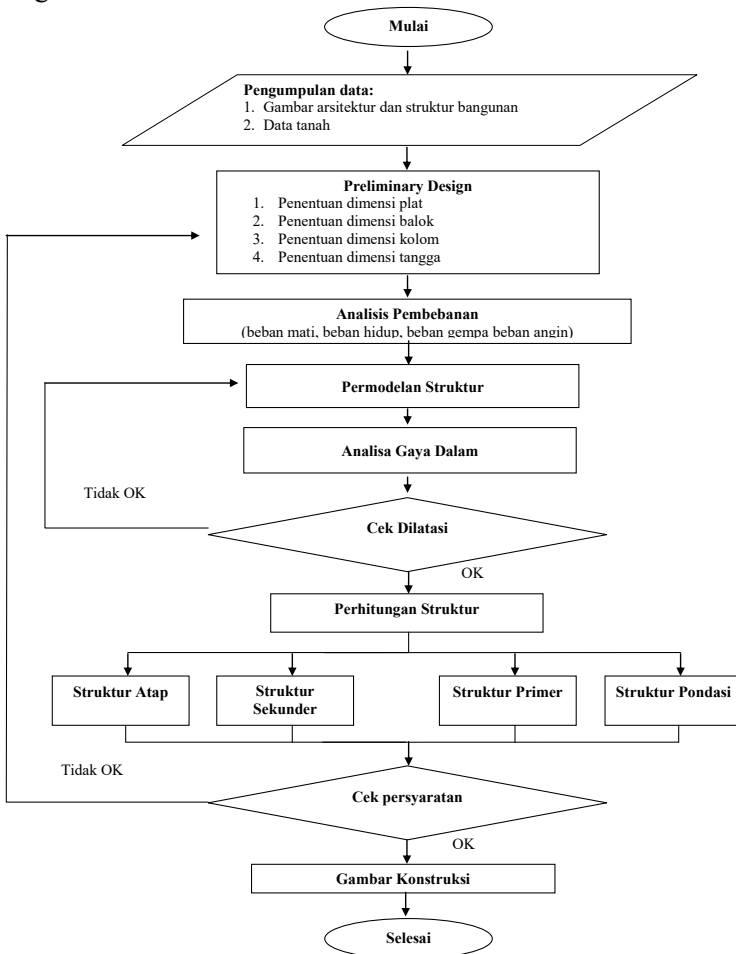
$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2}$  dengan  $\delta_{M1}$  dan  $\delta_{M2}$  adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

### BAB III

## METODOLOGI

Metodologi dalam Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA) dengan menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah mengikuti bagan alur sebagai berikut:



### 3.1 Pengumpulan Data

Data perencanaan meliputi :

#### 1. Data Bangunan

Nama Bangunan	: Gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri
Lokasi Bangunan	: Sunan Ampel Surabaya (UINSA)
Tinggi Bangunan	: Jalan Ahmad Yani No.117, : Surabaya, Jawa Timur
Konstruksi Atap	: $\pm 21$ meter
Struktur	Baja Rangka Kaku
Bangunan Atas	: Balok, Kolom, Plat, dan Tangga menggunakan beton
Struktur	bertulang
Bangunan Bawah	Pondasi Bor pile

#### 2. Data Tanah

Data tanah didapatkan dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh laboratorium Uji Tanah Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS. Data tanah berupa data SPT yang akan dipakai dalam perencanaan dan perhitungan pondasi bor pile.

#### 3. Data Gambar

Data gambar meliputi gambar denah, gambar tampak, gambar potongan, dan gambar detail yang digunakan untuk memperjelas dimensi komponen struktur yang berasal dari proyek.

#### 4. Data Bahan

Mutu bahan yang digunakan pada perencanaan adalah:

##### 1. Beton :

Mutu ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Mutu Tulangan Lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa

- |                           |             |
|---------------------------|-------------|
| Mutu Tulangan Geser (fys) | : 240 Mpa   |
| 2. Baja :                 |             |
| Mutu Baja                 | : BJ 37     |
| Mutu Baut                 | : A 325     |
| Mutu Angkur               | : A307      |
| Mutu Las Elektroda        | : XX 70 KSI |

### 3.2 Preliminary Design Beton

Penentuan dimensi komponen struktur beton meliputi :

1. Struktur primer : balok dan kolom.
2. Struktur sekunder : tangga , pelat lantai dan pelat atap.

### 3.3 Analisis Pembebanan Struktur

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan.

Analisa pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Pembebanan pada konstruksi atap
  - a. Beban Mati  
Terdiri dari berat seluruh material elemen struktur atap (penutup atap,kuda-kuda,gording,dan perlengkapan tambahan pada struktur atap)
  - b. Beban Hidup  
Beban pelaksana, beban air hujan, dan beban angin
2. Pembebanan pada plat lantai
  - a. Beban Mati  
Terdiri dari berat sendiri plat, spesi, keramik, plafond dan penggantung, perpipaan serta instalasi listrik
  - b. Beban Hidup  
Beban hidup ditentukan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG) 1983

3. Pembebanan pada tangga dan bordes
  - a. Beban Mati  
Terdiri dari berat sendiri plat tangga/bordes, anak tangga, spesi, *railling hand*, dan keramik
  - b. Beban Hidup  
Beban hidup ditentukan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG) 1983
4. Beban Gempa  
Analisa beban gempa menggunakan perhitungan statik ekuivalen
5. Beban Angin  
Beban angin ditentukan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG) 1983

### 3.4 Preliminary Design Baja

Penentuan profilkomponen struktur bajameliputi :

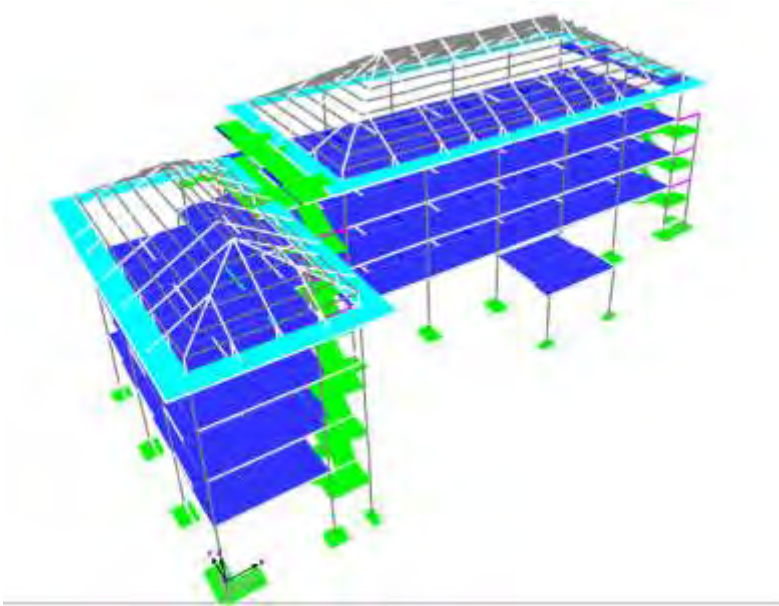
1. Profil kuda-kuda
2. Profil gording dan penggantung gording
3. Profil ikatan angin

### 3.5 Permodelan Struktur

Pemodelan Struktur dalam perencanaan bangunan gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA) ini menggunakan program bantu analisis struktur, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Pemodelan di modelkan sebagai sistem Struktur open frame dimana dinding tidak dimodelkan tetapi dijadikan beban pada frame.
2. Pelat dimodelkan sebagai area section agar beban pada plat dapat terdistribusi pada balok
3. Gaya gempa dimodelkan dengan metode static ekuivalen dan diinputkan kedalam tiap join pemodelan struktur.





**Gambar 3.5 Permodelan Struktur**

### **3.6 Analisa Gaya Dalam**

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan program analisis struktur. Kombinasi yang dipakai untuk pembebanan pada program analisis struktur adalah sebagai berikut:

1. Ketahanan struktur terhadap beban hidup dan mati:
  - a.  $1,4D$
  - b.  $1,2D+1,6L+0,5(A \text{ atau } R)$
2. Ketahanan struktur terhadap beban angin dan dikombinasikan dengan beban hidup dan mati:
  - c.  $1,2D+1,0L+1,6W+0,5(A \text{ atau } R)$
  - d.  $0,9D\pm 1,6W$
3. Ketahanan struktur terhadap beban gempa yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati:
  - e.  $1,2D+1,0L\pm 1,0E$

$$f. \quad 0,9D \pm 1,0E$$

Keterangan:

- D : Beban Mati
- L : Beban Hidup
- W : Beban Angin
- E : Beban Gempa
- R : Beban Air Hujan

### 3.7 Perhitungan Penulangan Elemen Struktur Beton

Penulangan dihitung berdasarkan SNI 2847–2013 dengan memperhatikan standart penulangan - penulangan serta menggunakan data - data yang diperoleh dari *output* program analisis struktur. Perhitungan penulangan dilakukan pada elemen struktur yakni : balok (ketentuan-ketentuan 21.3.4) dan kolom (ketentuan-ketentuan 21.3.5). Langkah perhitungannya secara garis besar di jelaskan sebagai berikut :

1. Dari *output* program analisis struktur diperoleh gaya geser, momen lentur, torsi dan gaya aksial
2. Perhitungan kebutuhan tulangan
3. Kontrol kemampuan dan cek persyaratan

### 3.8 Cek Persyaratan Elemen Struktur Beton

1. Plat
  - Kontrol jarak spasi tulangan
  - Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
  - Kontrol perlu tulangan susut dan suhu
  - Kontrol Lendutan
2. Balok
  - Kontrol  $M_n \geq M_{n \text{ untuk penulangan lentur}}$
  - Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 6 Kombinasi
3. Kolom
  - Kontrol momen yang terjadi  $M_{\text{perlu}} \geq M_n$

4. Pondasi
  - Kontrol dimensi poer
  - Kontrol geser poer
  - Geser satu arah
  - Geser dua arah

### 3.9 Perhitungan Sambungan Elemen Struktur Baja

Dalam perencanaan sambungan harus disesuaikan dengan bentuk struktur agar perilaku yang timbul nantinya tidak menimbulkan pengaruh yang buruk bagi bagian struktur lain yang direncanakan. Perencanaan sambungan dihitung berdasarkan SNI 1729–2015 dengan memperhatikan syarat syarat yang telah ditetapkan serta menggunakan data – data yang diperoleh dari output program analisis struktur. Langkah perhitungan secara garis besar dijelaskan sebagai berikut :

1. Dari *output* program analisis struktur diperoleh gaya geser, momen lentur, torsi dan gaya aksial
2. Perhitungan kebutuhan pelat buhul dan pengikat struktural (baut dan las)
3. Kontrol kemampuan dan cek persyaratan

### 3.10 Cek Persyaratan Elemen Struktur Baja

Desain atau profil elemen struktur baja harus dikontrol berdasarkan SNI 1729–2015 agar dapat memikul gaya gaya yang terjadi. Kontrol yang dilakukan ditiap elemen struktur baja antara lain :

1. Kontrol Lendutan
2. Kontrol Tegangan
3. Kontrol Tarik

Sedangkan untuk perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Gaya gaya dalam yang disalurkan berada dalam kesuimbangan dengan gaya gaya yang bekerja pada sambungan
2. Deformasi sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan
3. Sambungan dan komponanen yang berdekatan harus mampu memikul gaya gaya yang bekerja padanya.

### 3.11 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan meliputi:

1. Gambar arsitektur terdiri dari:
  - Gambar denah
  - Gambar Tampak (tampak depan dan tampak samping)
2. Gambar struktur terdiri dari
  - Gambar Potongan (potongan memanjang dan melintang)
  - Gambar plat
  - Gambar tangga dan bordes
  - Gambar balok
  - Gambar kolom
  - Gambar sloof
  - Gambar pondasi
3. Gambar penulangan
  - Gambar penulangan plat
  - Gambar penulangan tangga dan bordes
  - Gambar penulangan balok
  - Gambar penulangan kolom
  - Gambar penulangan sloof
  - Gambar penulangan poer dan pondasi
4. Gambar detail
  - a. Gambar detail panjang penyaluran meliputi
    - Panjang penyaluran plat dan tangga
    - Panjang penyaluran balok
    - Panjang penyaluran kolom

- Panjang penyaluran sloof
- Panjang penyaluran pondasi
- b. Gambar detail penjangkaran tulangan
- c. Gambar detail pondasi dan poer
- d. Gambar detail atap

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Sebelum merencanakan struktur bangunan gedung Fakultas Tarbiyah Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, langkah awal yang perlu diketahui yaitu menentukan dimensi struktur-struktur utama yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

#### 4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Dalam bentuk laporan perhitungan dimensi balok, cukup ditinjau satu tipe balok yang mempunyai bentang terpanjang. Tebal minimum balok dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a).

Tertumpu Sederhana

$$h_{min} = \frac{L}{16} \times l$$

Kedua Ujung Menerus

$$h_{min} = \frac{L}{21} \times l$$

Kantilever

$$h_{min} = \frac{L}{8} \times l$$

Ketentuan Tebal minimum balok tersebut diikuti dengan beberapa syarat, salah satunya adalah Untuk  $f_y$  selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

Adapun perencanaan dimensi balok dalam perencanaan struktur gedung Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya adalah sebagai berikut :

Balok Induk

Data-Data Perencanaan :

Tipe balok : B1

Bentang balok (1 balok) : 800 cm

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ): 400 Mpa

Gambar Denah Terlampir

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a). :

$$h \geq \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

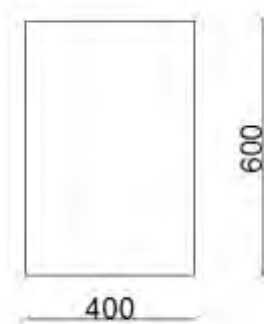
$$h \geq \frac{800}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) \quad b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$h \geq 48,57 \quad b = 40$$

$$h \approx 60 \quad b \approx 40$$

Maka direncanakan dimensi balok Induk melintang dengan ukuran 40/60

Gambar Perencanaan balok induk (BI)



**Gambar 4. 1 Dimensi Penampang Balok Induk**

Balok Anak

Data-Data Perencanaan :

Tipe balok : B2

Bentang balok (1 balok) : 800 cm

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ): 400 Mpa



Gambar Denah Terlampir

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a). :

$$h \geq \frac{L}{21} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

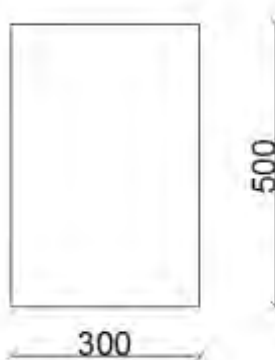
$$h \geq \frac{800}{21} \times (0,4 + \frac{400}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times 50$$

$$h \geq 36,95 \quad b = 33$$

$$h \approx 50 \quad b \approx 30$$

Maka direncanakan dimensi balok Induk melintang dengan ukuran 30/50

Gambar Perencanaan balok anak (BA)



**Gambar 4. 2 Dimensi Penampang Balok Anak**

Balok Kantilever

Data-Data Perencanaan :

Tipe balok : BK

Bentang balok (1 balok) : 170 cm

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ): 400 Mpa

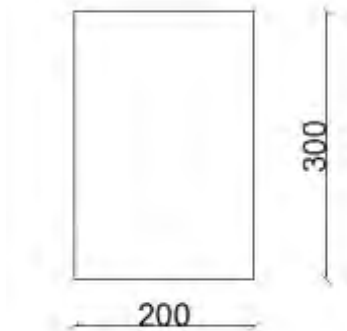
Gambar Denah Terlampir

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a). :

$$\begin{aligned}
 h &\geq \frac{L}{8} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) & b &= \frac{2}{3} \times h \\
 h &\geq \frac{170}{8} \times (0,4 + \frac{400}{700}) & b &= \frac{2}{3} \times 30 \\
 h &\geq 20,6 & b &= 20 \\
 h &\approx 30 & b &\approx 20
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan dimensi balok Induk melintang dengan ukuran 20/30

Gambar Perencanaan Balok Kantilever (BK)



**Gambar 4. 3 Dimensi Penampang Balok Kantilever**

#### 4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Adapun data-data perencanaan, gambar denah, ketentuan, perhitungan dan hasil akhir gambar Perencanaan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

Kolom

Data Perencanaan :

Tinggi kolom (Lkolom): 500 cm

Bentang Balok ( $L_{balok}$ ) : 800 cm  
 Dimensi Balok ( $b$ ) : 40 cm  
 Dimensi Balok ( $h$ ) : 60 cm

Gambar Denah Terlapis

Ketentuan Perencanaan

Dimensi kolom direncanakan berdasarkan ketentuan dasar bangunan SRPMM yaitu “kolom kuat balok lemah”

Perhitungan Perencanaan

$$\frac{l_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{l_{balok}}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{balok}}$$

Menentukan dimensi kolom, dimana

$$h_{kolom} = b_{kolom}$$

$$\frac{\frac{1}{12} x h^4}{L_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{balok}}$$

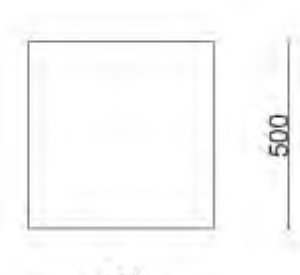
$$\frac{\frac{1}{12} x h^4}{500} \geq \frac{\frac{1}{12} x 40 x 60^3}{800}$$

$$h = 48,21 \approx 50$$

$$h=60$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran 50 cm x 50 cm

Gambar Perencanaan Kolom (K)



Gambar 4. 4 Dimensi Penampang Kolom

#### 4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Perhitungan dimensi sloof dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a). Termasuk kategori balok tertumpu sederhana dengan tebal minimum sebagai berikut :  $h_{min} = \frac{L}{16} \times l$

Data-data perencanaan, gambar denah, ketentuan, perhitungan dan hasil akhir gambar Perencanaan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

Data-Data Perencanaan :

Tipe sloof : BS

Bentang sloof (Lsloof) : 800 mm

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ): 400 Mpa

Gambar Denah Terlampir

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a). :

$$h \geq \frac{L}{16} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

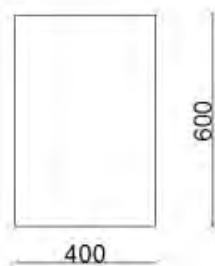
$$h \geq \frac{800}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$h \geq 48,57 \quad b = 40$$

$$h \approx 60 \quad b \approx 40$$

Maka direncanakan dimensi sloof melintang dengan ukuran 40/60

Gambar Perencanaan Sloof (BS)



**Gambar 4. 5 Dimensi Penampang sloof**

Kesimpulan :

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas, maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut :

Balok	
Balok Induk (BI1)	: 40/60
Balok Anak (BA )	: 30/50
Balok Kantilever (BK)	: 20/30
Sloof (BS)	: 40/60
Kolom	
Kolom	: 50/50

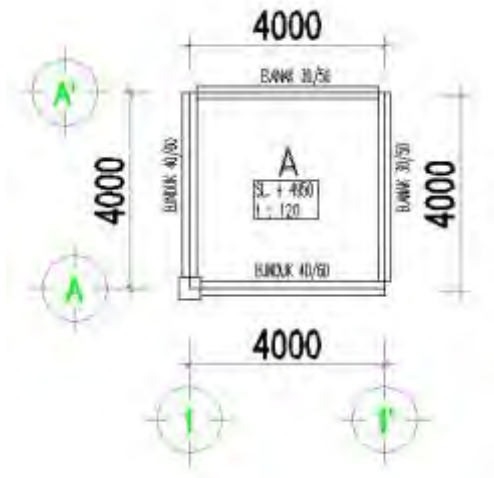
#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat

Dalam bentuk laporan perhitungan dimensi pelat, cukup ditinjau satu tipe pelat yang mempunyai luasan yang terbesar.

Adapun data– data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan hasil akhir gambar perencanaan dimensi Pelat Lantai 2 tipe T adalah sebagai berikut :

Data Perencanaan :	
Type pelat	: A
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 29,05 MPa
Kuat leleh tulangan ( $f_y$ )	: 400MPa
Rencana tebal pelat	: 12 cm
Bentang pelat sumbu panjang	: 400
Bentang pelat sumbu pendek	: 400
Balok 1	: 30/50
Balok 2	: 30/50
Balok 3	: 40/60
Balok 4	: 40/60

Gambar Perencanaan :



**Gambar 4. 6 Denah Pelat tipe A**

Perhitungan Perencanaan :

Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$Ln = Ly - \left( \frac{bw}{2} - \frac{bw}{2} \right)$$

$$Ln = Ly - \left( \frac{40}{2} - \frac{30}{2} \right)$$

$$Ln = 365 \text{ cm}$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$Sn = Ly - \left( \frac{bw}{2} - \frac{bw}{2} \right)$$

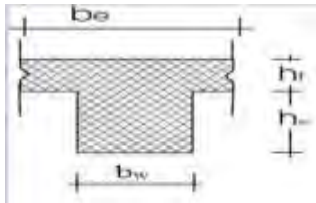
$$Sn = Ly - \left( \frac{40}{2} - \frac{30}{2} \right)$$

$$Sn = 365 \text{ cm}$$

Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = \frac{365}{365} = 1$$

(Plat 2 Arah)



**Gambar 4. 7 Balok B1 As A' (30/50)**

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = 30 + 2(50 - 12)$$

$$= 30 + 76$$

$$= 106$$

$$b_{e2} = b_w + 8hf$$

$$b_{e2} = 30 + (8 \times 12)$$

$$= 20 + 96$$

$$= 116$$

Pilih nilai terkecil antara  $b_{e1}$  dan  $b_{e2}$

$$b_{e1} = 106$$

Faktor Modifikasi

$k$

$$= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,6902$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot bw \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6902 \cdot 30 \cdot \left(\frac{50}{12}\right)^3$$

$$I_b = 528190 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = bp \times \frac{t^3}{12}$$

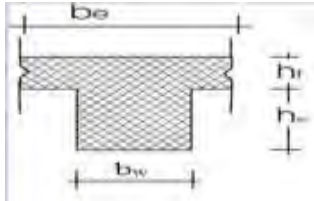
$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{528190}{57600} = 9,1699$$





**Gambar 4. 8 Balok B1 As 1'(30/50)**

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$b_{e1} = 30 + 2(50 - 12)$$

$$= 30 + 76$$

$$= 106$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$b_{e2} = 30 + (8 \times 12)$$

$$= 20 + 96$$

$$= 116$$

Pilih nilai terkecil antara be1 dan be2

$$b_{e1} = 106$$

Faktor Modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,6902$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot b_w \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6902 \cdot 30 \cdot \left(\frac{50}{12}\right)^3$$

$$I_b = 528190 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

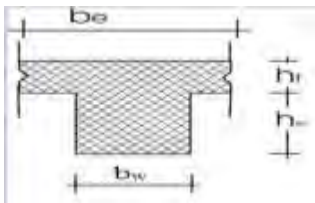
$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{528190}{57600} = 9,1699$$



**Gambar 4. 9 Balok B1 As A (40/60)**

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t)$$

$$= 40 + 2(60-12)$$

$$= 40 + 96$$

$$= 136$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$= 40 + (8 \times 12)$$

$$= 40 + 96$$

$$= 136$$

Pilih nilai terkecil antara  $b_{e1}$  dan  $b_{e2}$

$$b_{e2} = 141$$

Faktor Modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,6419$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot b_w \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6419 \cdot 40 \cdot \left(\frac{60}{12}\right)^3$$

$$I_b = 1182170 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

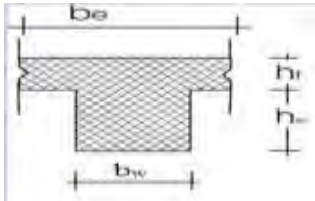
$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182170}{57600} = 20,5238$$



**Gambar 4. 10 Balok B1 As 1 (40/60)**

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t)$$

$$= 40 + 2(60-12)$$

$$= 40 + 96$$

$$= 136$$

$$b_{e2} = b_w + 8hf$$

$$= 40 + (8 \times 12)$$

$$= 40 + 96$$

$$= 136$$

Pilih nilai terkecil antara  $b_{e1}$  dan  $b_{e2}$

$$b_{e2} = 136$$

Faktor Modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,6419$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot b_w \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6419 \cdot 40 \cdot \left(\frac{60}{12}\right)^3$$

$$I_b = 1182170 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182170}{57600} = 20,5238$$

Rata-Rata rasio kekuatan 4 balok =

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 14,847$$

$$t = \ln x \left( \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} \right)$$

$$t = 365 x \left( \frac{0,8 + \frac{400}{1400}}{36 + (9 x 1)} \right)$$

$$= 88 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

Ketebalan pelat juga tidak boleh kurang dari 90mm

Maka tebal pelat yang digunakan adalah 120 mm

#### 4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Data perencanaan ini akan dibahas perencanaan dimensi dan penulangan tangga. Adapun data-data, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisa struktur, ketentuan perhitungan menggunakan peraturan yang berlaku, perhitungan dan hasil akhir gambar tangga dan bordes adalah sebagai berikut :

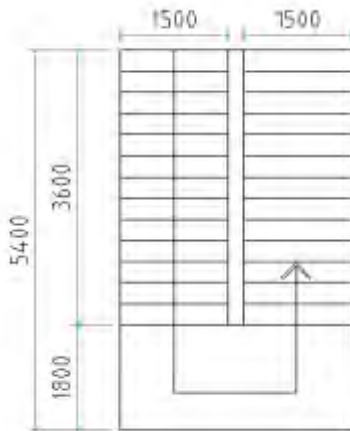
##### a. Data Perencanaan

- Mutu Beton ( $f_c'$ ) = 29,05 Mpa
- BJ tul.lentur ( $f_y$ ) = 400 Mpa
- Tebal Rencana Pelat Tangga = 15 cm
- Tebal Rencana Pelat Bordes = 15 cm
- Lebar Injakan (i) = 30 cm
- Tinggi Injakan (t) = 18 cm
- Panjang datar tangga = 540 cm
- Tinggi tangga = 500 cm

- Tinggi bordes = 250 cm
- Lebar bordes = 180 cm
- Lebar Tangga = 150 cm

b. Gambar Rencana

c. Perhitungan Perencanaan



**Gambar 4. 11 Denah penulangan tangga**

➤ Panjang Miring Anak Tangga

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{i^2 + t^2} \\
 &= \sqrt{30^2 + 18^2} \\
 &= 349 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Jumlah Tanjakan (nt)

$$\begin{aligned}
 nt &= \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi tanjakan}} \\
 nt &= \frac{250}{18}
 \end{aligned}$$

$$n_t = 14 \text{ buah}$$

- Jumlah Injakan ( $n_i$ )

$$n_i = n_t - 1$$

$$n_i = 14 - 1$$

$$n_i = 13$$

- Sudut Kemiringan Tangga

$$\alpha = \arctan t/i$$

$$= \arctan 180/300$$

$$= 30,9$$

- Syarat Sudut Kemiringan

$$25^\circ < \alpha < 40^\circ$$

$$25^\circ < 30,9^\circ < 40^\circ$$

- Tebal Efektif Pelat Tangga

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 1 &= \frac{1}{2} \times i \times t \\ &= 270 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas } \Delta 2 = \frac{1}{2} \times \sqrt{i^2 + t^2} \times d = 17 \times d$$

Persamaan

$$L_{\Delta 1} = L_{\Delta 2}$$

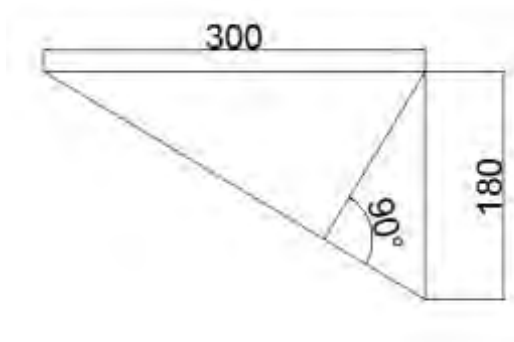
$$270 = 17 \times d$$



$$d = 15,43 \text{ cm}$$

$$= 7,72 \text{ cm}$$

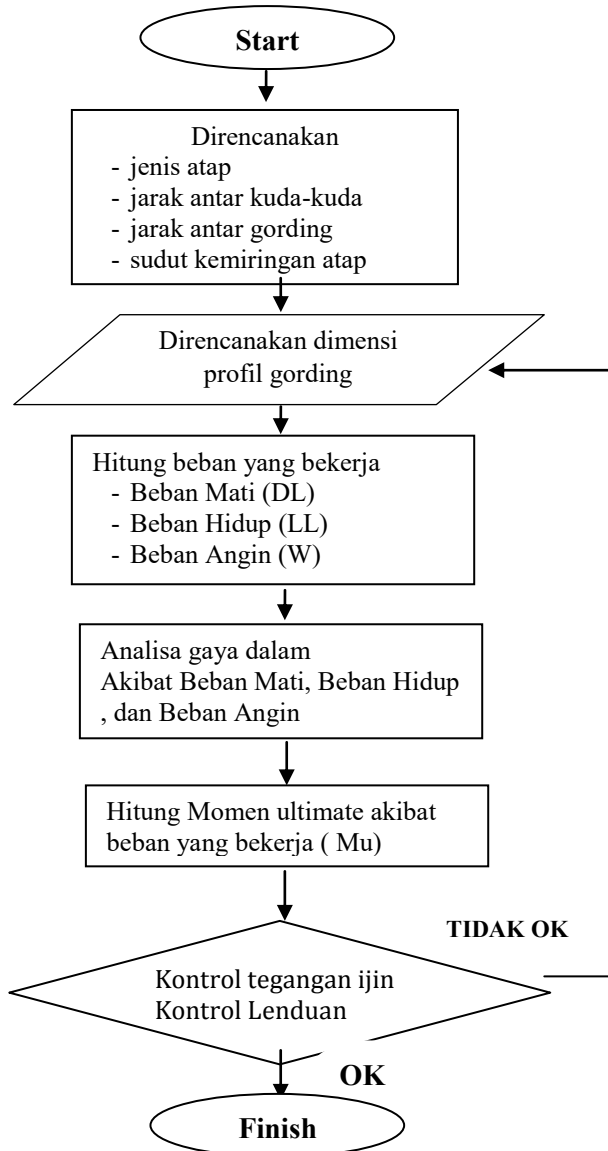
$$\begin{aligned} \text{maka tebal efektif pelat tangga} &= 15 \text{ cm} + 7.72 \text{ cm} \\ &= 22,72 \text{ cm} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 12 Tebal efektif tangga**

## 4.2 Perencanaan Struktur Atap Baja

### 4.2.1 Perhitungan Gording



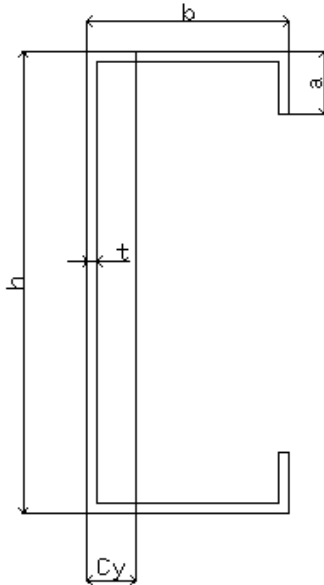
Gambar 4. 13 Flowchart Perhitungan Gording

Gedung Fakultas Tarbiyah UINSA direncanakan menggunakan rangka atap baja dengan bentuk perisai. Atap sebagai bagian dari struktur bangunan atas, harus mampu mentransfer beban dan gaya akibat hujan dan angin ke struktur yang ada dibawahnya. Komponen-komponen atap yang dihhitung berupa gording, penggantung gording, ikatan angin, kuda-kuda, kolom pendek, dan pelat landas.

#### **Data- Data Perencanaan**

##### ➤ Data Perencanaan Gording

Direncanakan profil gording LLC 150.50.20.3,2



**Gambar 4. 14 Profil Gording LLC 150. 50 20.3,2**

$W$	$= 6,76 \text{ kg/m}$	$A$	$= 150 \text{ mm}$
$I_x$	$= 280 \text{ cm}^4$	$b$	$= 50 \text{ mm}$
$I_y$	$= 28,3 \text{ cm}^4$	$a$	$= 20 \text{ mm}$

$S_x$	$= 37,4 \text{ cm}^3$	$t$	$= 3,2 \text{ mm}$
$S_y$	$= 8,19 \text{ cm}^3$	$h$	$= 150 \text{ mm}$
$i_x$	$= 5,89 \text{ cm}$	$C_y$	$= 1,54 \text{ cm}$
$i_y$	$= 2,37 \text{ cm}$		

#### Mutu Bahan yang Digunakan

Baja yang digunakan adalah BJ 37

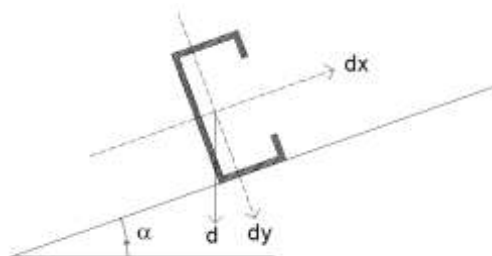
Tegangan leleh baja ( $f_y$ )	$= 240 \text{ Mpa}$
Tegangan putus baja ( $f_u$ )	$= 370 \text{ Mpa}$
Tegangan sisa ( $f_r$ )	$= 70 \text{ Mpa}$
Modulus Elastisitas baja ( $E$ )	$= 200000 \text{ Mpa}$

#### Data Bangunan

Faktor Reduksi ( $\phi$ )	$= 0,9$
Panjang Gording ( $L_1$ )	$= 1,2 \text{ m}$
Jumlah penggantung	$= 1$
Diameter penggantung ( $d$ )	$= 10 \text{ mm}$
Kemiringan atap ( $\alpha$ )	$= 30^\circ$
Berat atap (genteng)	$= 40 \text{ kg/m}^2$

#### ➤ Pembebanan pada Gording

Beban yang mengenai atap arahnya tegak lurus terhadap sudut kemiringan atap, sehingga untuk perhitungannya diperlukan nilai resultan. Berikut adalah arah pemisalan gaya pada gording.



**Gambar 4. 15 Pembebanan pada Gording**

Berikut adalah beban-beban yang bekerja pada gording :

1. Beban Mati (DL)

Berat sendiri profil = 6,76 kg/m

Berat penutup atap = 48 kg/m

10% berat lain-lain =  $\frac{5,476 \text{ kg/m} + 60,236 \text{ kg/m}}{100} \times 10 = 6,576 \text{ kg/m}$

60,236 kg/m

Arah x =  $q_{dx} = q_d \text{ total} \times \sin \alpha$

=  $60,236 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ = 30,12 \text{ kg/m}$

Arah y =  $q_{dy} = q_d \text{ total} \times \cos \alpha$

=  $60,236 \text{ kg/m} \times \cos 30^\circ = 52,17 \text{ kg/m}$

2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup yang bekerja pada gording terdiri dari:

a. Beban Hidup Pekerja (P)

Beban Pekerja = 133 kg

Arah x =  $P_x \sin \alpha = 133 \text{ kg} \times \sin 30^\circ = 66,5 \text{ kg}$

Arah y =  $P_y \cos \alpha = 133 \text{ kg} \times \cos 30^\circ = 115,18 \text{ kg}$

b. Beban Air Hujan (R)

$q = 9,8 \text{ kg/m}^2$

$q_L = q \cdot b_L = 9,8 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2 \text{ m} = 11,76 \text{ kg/m}$

Arah x =  $q_L \sin \alpha = 11,76 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ = 5,88 \text{ kg}$

Arah y =  $q_L \cos \alpha = 11,76 \text{ kg/m} \times \cos 30^\circ = 10,18 \text{ kg}$

3. Beban Angin

permukaan	L (m)	h (m)	h/L	cp	p (kg/m <sup>2</sup> )	q=p.b <sub>L</sub> (kg/m)
sisi angin datang	19	23,99	1,26	-0,3	-2,555	-3,066
	19	23,99	1,26	0,2	1,703	2,044
sisi angin pergi	19	23,99	1,26	-0,6	-5,109	-6,132

Beban angin terbesar (Tekan) = 2,044 kg/m

Arah x =  $q_w \sin \alpha = 2,044 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ = 1,02 \text{ kg/m}$

Arah y =  $q_w \cos \alpha = 2,044 \text{ kg/m} \times \cos 30^\circ = 1,77 \text{ kg/m}$

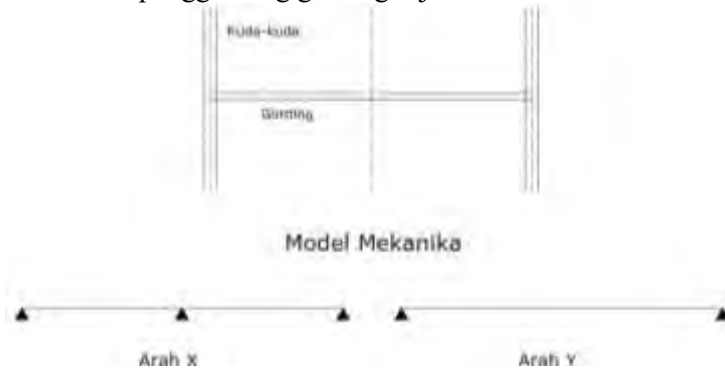
Beban angin terbesar (Hisap) = -6,132 kg/m

Arah x =  $q_w \cdot \sin \alpha = -6,132 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ = -3,066 \text{ kg/m}$

Arah y =  $q_w \cdot \cos \alpha = -6,132 \text{ kg/m} \times \cos 30^\circ = -5,31 \text{ kg/m}$

### 1. Perhitungan momen pada Gording

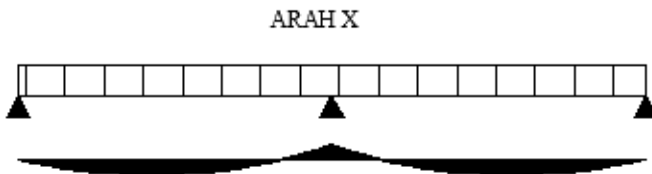
Untuk memperkecil nilai lendutan pada arah x gording, maka direncanakan penggantung gording sejumlah 1 buah.



Gambar 4. 16 Mekanika pada Gording

### Momen Akibat Beban Merata

#### Momen Arah X



#### Momen Arah Y

ARAH Y



**Momen Akibat Beban Merata**

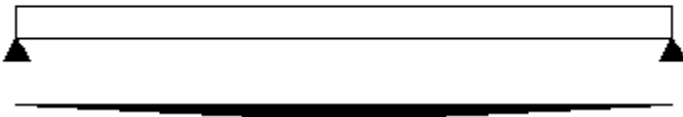
**Momen Arah X**

ARAH X



**Momen Arah Y**

ARAH Y



### **Perhitungan Momen Akibat Beban Merata**

1. Momen Akibat Beban Mati

$$\begin{aligned}
 M_{Dx} &= \frac{1}{10} \cdot q_{Dx} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 30,12 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right)^2 \\
 &= 12,05 \text{ kgm} \\
 M_{Dy} &= \frac{1}{8} \cdot q_{Dy} \cdot (L)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 52,17 \text{ kg/m} \cdot (4m)^2 \\
 &= 104,33 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Momen Akibat Beban Hidup  
- Beban Merata (Beban Hujan/R)

$$\begin{aligned}
 M_{Rx} &= \frac{1}{10} \cdot q_{Rx} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 10,18 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right)^2 \\
 &= 4,07 \text{ kgm} \\
 M_{Ry} &= \frac{1}{8} \cdot q_{Ry} \cdot (L)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 5,88 \text{ kg/m} \cdot (4m)^2 \\
 &= 11,76 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Beban Terpusat

$$\begin{aligned}
 M_{Px} &= \frac{1}{6} \cdot q_{Px} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right) \\
 &= \frac{1}{6} \cdot 66,50 \text{ kg} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right) \\
 &= 22,17 \text{ kgm} \\
 M_{Py} &= \frac{1}{4} \cdot q_{Py} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right) \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 115,18 \text{ kg} \cdot (4m) \\
 &= 115,18 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

3. Momen Akibat Beban Angin (Tekan)

$$\begin{aligned}
 M_{Wx} &= \frac{1}{10} \cdot q_{Wx} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 1,02 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right)^2 \\
 &= 0,41 \text{ kgm} \\
 M_{Wy} &= \frac{1}{10} \cdot 1,77 \text{ kg/m} \cdot (4m)^2 \\
 &= 2,83 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Momen Akibat Beban Angin (Hisap)

$$\begin{aligned}
 M_{Wx} &= \frac{1}{10} \cdot q_{Wx} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot -3,06 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{4m}{2}\right)^2 \\
 &= -1,23 \text{ kgm} \\
 M_{Wy} &= \frac{1}{10} \cdot -5,31 \text{ kg/m} \cdot (4m)^2 \\
 &= -8,5 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



## 2. Perhitungan Momen Terfaktor Gording

### ➤ 1D

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 1. M_{Dx} \\ &= 1. 12,05 \text{ kgm} \\ &= 12,05 \text{ kgm} \\ M_{uy} &= 1. M_{Dy} \\ &= 1. 104,33 \text{ kgm} \\ &= 104,33 \text{ kgm} \end{aligned}$$

### ➤ 1D + 1 L

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1. M_{Dx}) + (1. M_{Lx}) \\ &= (1. 12,05 \text{ kgm}) + (1. 22,17 \text{ kgm}) \\ &= 34,2 \text{ kgm} \\ M_{uy} &= 1. M_{Dy} \\ &= (1. 104,33 \text{ kgm}) + (1. 115,18 \text{ kgm}) \\ &= 116,1 \text{ kgm} \end{aligned}$$

### ➤ 1D+1L+1W (Angin Tekan)

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1. M_{Dx}) + (1. M_{Lx}) + (1. M_{Wx}) \\ &= (1. 12,05 \text{ kgm}) + (1. 22,17 \text{ kgm}) + (1. 0,41 \text{ kgm}) \\ &= 34,62 \text{ kgm} \\ M_{uy} &= 1. M_{Dy} \\ &= (1. 104,33 \text{ kgm}) + (1. 115,18 \text{ kgm}) + (1. 2,83 \text{ kgm}) \\ &= 222,3 \text{ kgm} \end{aligned}$$

### ➤ 1D+1L+1W (Angin Hisap)

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1. M_{Dx}) + (1. M_{Lx}) + (1. M_{Wx}) \\ &= (1. 12,05 \text{ kgm}) + (1. 22,17 \text{ kgm}) + (1. -1,23 \text{ kgm}) \\ &= 32,99 \text{ kgm} \\ M_{uy} &= 1. M_{Dy} \\ &= (1. 104,33 \text{ kgm}) + (1. 115,18 \text{ kgm}) + (1. -5,13 \text{ kgm}) \\ &= 211,0 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh momen terbesar yaitu  $M_{ux} = 34,62 \text{ kgm}$  dan  $M_{uy} = 222,35 \text{ kgm}$

### 3. Kontrol Kekuatan Gording terhadap Tegangan

$$\zeta = 1,3. \zeta_{lt} = 1,3. 1600 \text{ kg/cm}^2 = 2080 \text{ kg/cm}^2$$

$$\zeta_{lt ytb} = \frac{M_{tot}}{Z} \leq \zeta$$

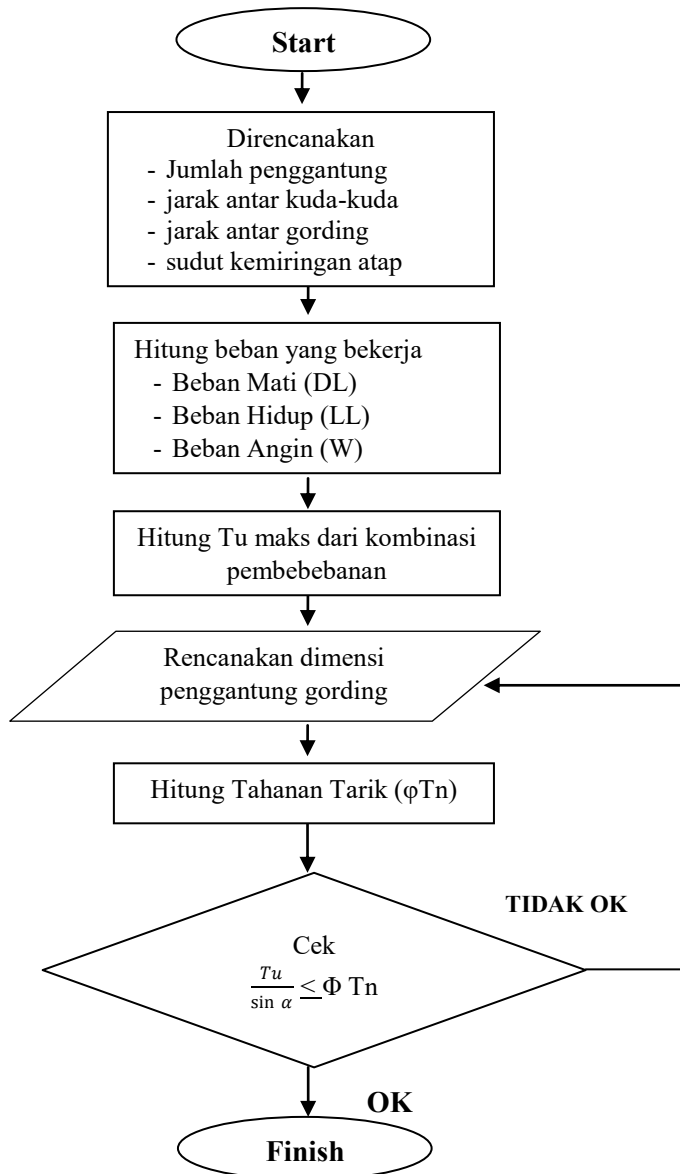
$$M_{ux} = 34,62 \text{ kgm} = 3462 \text{ kgcm}$$

$$M_{uy} = 222,35 \text{ kgm} = 22235 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned} \zeta_{lt ytb} &= \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{M_{ux}}{Z_y} + \frac{M_{uy}}{Z_x} \\ &= \frac{3462 \text{ kgcm}}{8,19 \text{ cm}^3} + \frac{22235 \text{ kgcm}}{37,4 \text{ cm}^3} \\ &= 1019,14 \text{ kg/cm}^2 < 2080 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

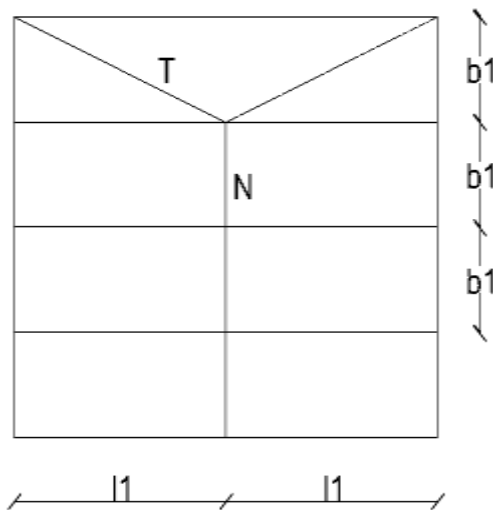
### 4. Kontrol Lendutan

#### 4.2.2 Perhitungan Penggantung Gording



Gambar 4. 17 Flowchart Perhitungan Penggantung Gording

Penggantung gording dipasang sebagai penguat sumbu lemah. Dalam hal ini, sumbu lemah gording adalah sumbu y, maka dipasang penggantung gording yang tegak lurus dengan sumbu y, yaitu sumbu x untuk memperkuat penampang gording saat menerima beban searah sumbu y. Pada perencanaan ini terdiri dari 1 penggantung gording untuk bentang gording 4 m.



**Gambar 4. 18 Perencanaan penggantung gording**

#### 1. Data-data Perencanaan

Jumlah gording (n)	= 9 buah
Jumlah Pekerja	= 1 orang
Jarak antar gording (b1)	= 1,2 m
Jarak ke penggantung (l1)	= 2 m
Jarak antar kuda-kuda	= 4 m
Kemiringan atap	= 30°

## 2. Analisa Pembebanan

Berikut ini adalah beban-beban yang bekerja pada penggantung gording

### 1. Beban Mati (DL)

Berat Sendiri Profil = 7,51 kg/m

Berat Penutup Atap = 48 kg/m

10% berat lain-lain = 5,551 kg/m +

qtot = 61,061 kg/m

Berat Total Td = qtot x ll x n

= 61,061 kg/m . 2m. 9 buah

= 1099,1 kg

### 2. Beban Hidup (LL)

#### - Beban Pekerja (Terpusat)

Beban Pekerja ( $T_L$ ) = 133 kg. 1 orang

= 133 kg

#### - Beban Air Hujan (R)

$q = 9,8 \text{ kg/m}^2$

$q_L = q \cdot b_l = 9,8 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2 \text{ m} = 11,76 \text{ kg/m}$

$T_R = 11,76 \text{ kg/m} \cdot 2\text{m} \cdot 9 = 211,68 \text{ kg}$

### 3. Beban Angin

**Tabel 4. 1 Beban Angin pada Penggantung gording**

permukaan	L (m)	h (m)	h/L	cp	p (kg/m <sup>2</sup> )	q=p.b <sub>l</sub> (kg/m)
sisi angin datang	19	23,99	1,26	-0,3	-2,555	-3,066
	19	23,99	1,26	0,2	1,703	2,044
sisi angin pergi	19	23,99	1,26	-0,6	-5,109	-6,132

Beban angin terjadi = 2,044 kg/m

Beban angin total = 2,044 kg/m. 2m. 9

= 18,395 kg

## 3. Kombinasi Pembebanan

#### - Beban ultimate 1

$T_u = 1,4 \cdot T_d$

= 1,4 . 1099,1 kg = 1538,74 kg

#### - Beban ultimate 2

- $$T_u = 1,2 T_d + 0,5. T_L$$
- $$= 1,2 . 1099,1 \text{ kg} + 0,5. 133 \text{ kg} = 1385,42 \text{ kg}$$
- Beban ultimate 3
 
$$T_u = 1,2 T_d + 0,5. T_R$$

$$= 1,2 . 1099,1 \text{ kg} + 0,5. 211,68 \text{ kg} = 1424,76 \text{ kg}$$
  - Beban ultimate 4
 
$$T_u = 1,2 T_d + 1,6. T_L + 0,8 T_w$$

$$= 1,2 . 1099,1 \text{ kg} + 1,6. 133 \text{ kg} + 0,8. 18,39 \text{ kg} = 1531,72 \text{ kg}$$
  - Beban ultimate 5
 
$$T_u = 1,2 T_d + 1,6. T_R + 0,8 T_w$$

$$= 1,2. 1099,1 \text{ kg} + 1,6. 211,68 \text{ kg} + 0,8. 18,39 \text{ kg} = 1657,61 \text{ kg}$$
  - Beban ultimate 6
 
$$T_u = 1,2 T_d + 1,3 T_w + 0,5 T_L$$

$$= 1,2. 1099,1 \text{ kg} + 1,3 . 18,39 \text{ kg} + 0,5. 133 \text{ kg} = 1385,42 \text{ kg}$$
  - Beban ultimate 7
 
$$T_u = 1,2 T_d + 1,3 T_w + 0,5 T_R$$

$$= 1,2. 1099,1 \text{ kg} + 1,3. 18,39 \text{ kg} + 0,5. 211,68 \text{ kg} = 1424,76 \text{ kg}$$
  - Beban ultimate 8
 
$$T_u = 0,9 T_d + 1,3 T_w$$

$$= 0,9. 1099,1 \text{ kg} + 1,3. 18,39 \text{ kg} = 989,19 \text{ kg}$$

Berdasarkan perhitungan kombinasi diatas, maka beban ultimate yang digunakan adalah  $T_u = 1657,61 \text{ kg}$ .

#### 4. Spesifikasi Penggantung Gording

Mutu Baja BJ 37

Tegangan leleh baja ( $f_y$ ) = 240 Mpa

Tegangan putus baja ( $f_u$ ) = 370 Mpa

Diameter ( $d$ ) = 12 mm

Jumlah = 2 buah

Sudut kemiringan :

$$\tan \alpha = \frac{1,2}{2}$$

$$\alpha = 31^\circ$$

Luas Penampang Bruto :

$$A_g = \frac{n \cdot \pi}{4} \cdot d^2$$

$$= \frac{1 \cdot \pi}{4} \cdot (12 \text{ mm})^2$$

$$= 226,19 \text{ mm}^2 = 2,2619 \text{ cm}^2$$

Luas Penampang Neto

$$A_e = 0,9 A_g$$

$$= 0,9 \cdot 226,19 \text{ mm}^2$$

$$= 203,58 \text{ mm}^2 = 2,0358 \text{ cm}^2$$

Tahanan Tarik

- Untuk kondisi leleh  
 $\Phi T_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_y$   
 $= 0,9 \cdot 2,2619 \text{ cm}^2 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2$   
 $= 4885,8 \text{ kg}$
- Untuk kondisi fraktur  
 $\Phi T_n = 0,75 \cdot A_e \cdot F_u$   
 $= 0,75 \cdot 2,0358 \text{ cm}^2 \cdot 3700 \text{ kg/cm}^2$   
 $= 5649,2 \text{ kg}$

Sehingga digunakan tahanan tarik yang terkecil yaitu  $\Phi T_n = 4885,8 \text{ kg}$

Beban ultimate miring :

$$\frac{T_u}{\sin \alpha} = \frac{1657,61 \text{ kg}}{\sin 31^\circ} = 3218,41 \text{ kg}$$

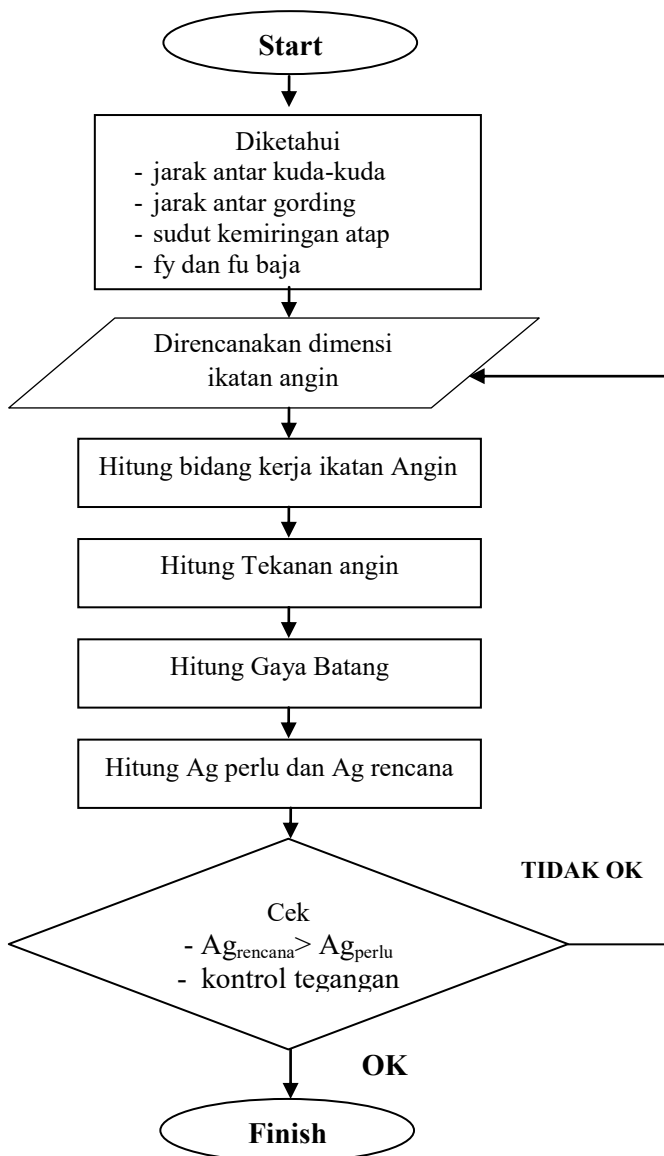
Cek syarat

$$\frac{T_u}{\sin \alpha} \leq \Phi T_n$$

$$3218,41 \text{ kg} \leq 4885,8 \text{ kg} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga, penggantung gording dengan  $\phi 12 \text{ mm}$  dapat digunakan

### 4.2.3 Perhitungan ikatan Angin

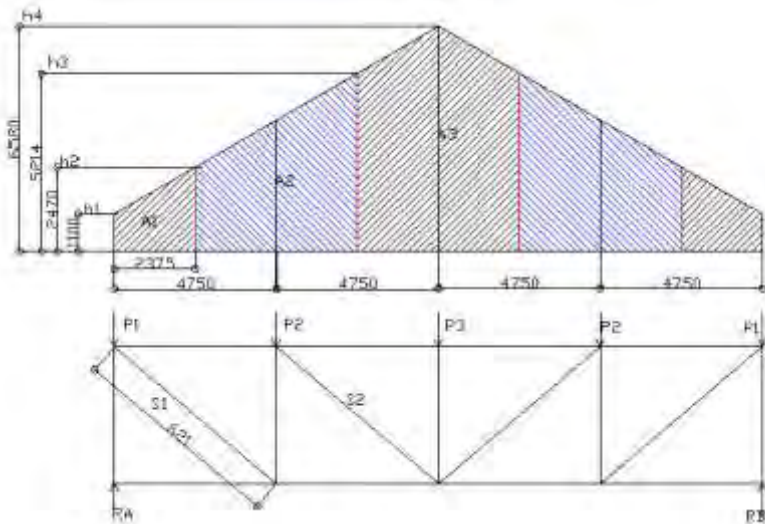


Gambar 4. 19 Flowchart Perhitungan Ikatan Angin



### 1. Data-data Perencanaan

Jarak antar gording	= 1,2 m
Kemiringan atap	= 30°
Jarak antar kuda-kuda	= 4 m
Tegangan leleh baja	= 2400 kg/cm <sup>2</sup>
Tegangan putus baja	= 3700 kg/cm <sup>2</sup>
dimensi ikatan angin	= 10 mm



**Gambar 4. 20 Bidang Kerja Ikatan Angin**

Ketinggian tiap titik:

h1	= 1,1 m
h2	= 2,47 m
h3	= 5,214 m
h4	= 6,580 m

Jarak antar titik :

a1	= 2,375
a2	= 4,75
a3	= 4,75

Luasan Bidang (A)

$$A1 = \frac{(1,1m + 2,47m)}{2} \cdot 2,375m = 4,241 m^2$$

$$A2 = \frac{(2,47m + 5,214m)}{2} \cdot 4,75m = 18,251 m^2$$

$$A3 = \frac{(5,214m + 6,58m)}{2} \cdot 2,375m \cdot 2 = 28,021 m^2$$

## 2. Perhitungan Tekanan Angin

**Tabel 4. 2 Beban Angin pada ikatan Angin**

permukaan	L (m)	h (m)	h/L	cp	p(kg/m <sup>2</sup> )
sisi angin datang	19	23,99	1,263	-0,3	-2,555
	19	23,99	1,263	0,2	1,703
sisi angin pergi	19	23,99	1,263	-0,6	-5,109

tekanan angin maks

1,703

$$P = A \cdot p$$

$$\begin{aligned} P_1 &= A1 \cdot p \\ &= 4,241 m^2 \cdot 1,703 kg/m^2 \\ &= 7,223 kg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= A2 \cdot p \\ &= 18,251 m^2 \cdot 1,703 kg/m^2 \\ &= 31,086 kg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= A3 \cdot p \\ &= 28,021 m^2 \cdot 1,703 kg/m^2 \\ &= 47,726 kg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } R_A &= R_B \\ &= \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_1 + P_2}{2} \\ &= \frac{7,223 kg + 31,086 kg + 47,726 kg}{2} \\ &= 62,172 kg \end{aligned}$$

## 3. Perhitungan Gaya pada Batang

- Batang S<sub>1</sub>



$$\begin{aligned}\alpha &= \tan^{-1} (\text{jarak antar kuda/jarak antar titik}) \\ &= \tan^{-1} (4/5,48) \\ &= 53,9^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 0 \\ &= R_A - P_1 - S_1 \cdot \cos \alpha \\ &= 62,172 \text{ kg} - 7,223 \text{ kg} - S_1 \cdot \cos 53,9^\circ \\ S_1 &= 92,3 \text{ kg (tarik)}\end{aligned}$$

- Batang  $S_2$

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 0 \\ &= R_A - P_2 - S_2 \cdot \cos \alpha \\ &= 62,172 \text{ kg} - 31,09 \text{ kg} - S_2 \cdot \cos 53,9^\circ \\ S_2 &= 52,73 \text{ kg (tarik)}\end{aligned}$$

Maka gaya batang maksimum  $N_u = 92,3 \text{ kg}$  yang menjadi acuan untuk penentuan dimensi ikatan angin

#### 4. Perhitungan Dimensi Ikatan Angin

- Kondisi leleh

$$\begin{aligned}A_g &= \frac{N_u}{\phi \times f_y} \\ &= \frac{92,3 \text{ kg}}{0,9 \times 2400} \\ &= 0,0431 \text{ cm}^2 = 4,31 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Kondisi fraktur

$$\begin{aligned}A_g &= \frac{N_u}{\phi \times f_u} \\ &= \frac{92,3 \text{ kg}}{0,75 \times 3700}\end{aligned}$$

$$= 0,0448 \text{ cm}^2 = 4,48 \text{ mm}^2$$

Direncanakan dimensi ikatan angin  $\phi 10 \text{ mm}$

$$A_{g_{rencana}} > A_{g_{perlu}} \\ 78,53 \text{ mm}^2 > 4,48 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Kontrol tegangan

$$\zeta < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{N_u}{A_g} < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{92,3 \text{ kg}}{4,48 \text{ cm}^2} < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$118,7 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

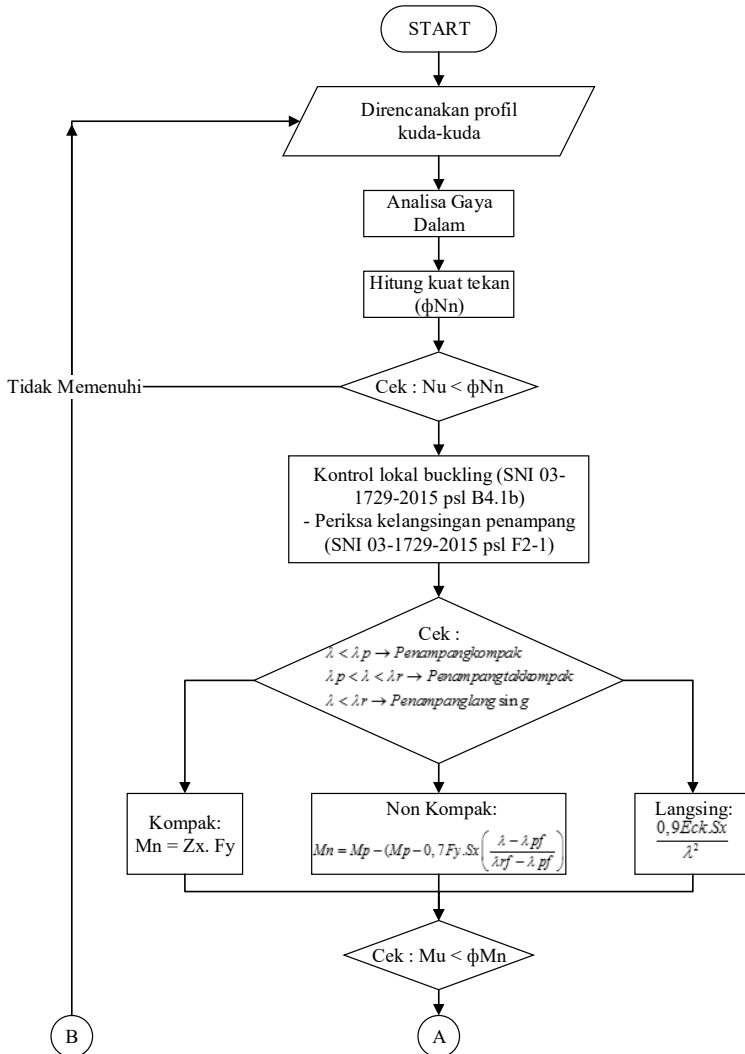
- Kontrol kelangsingan

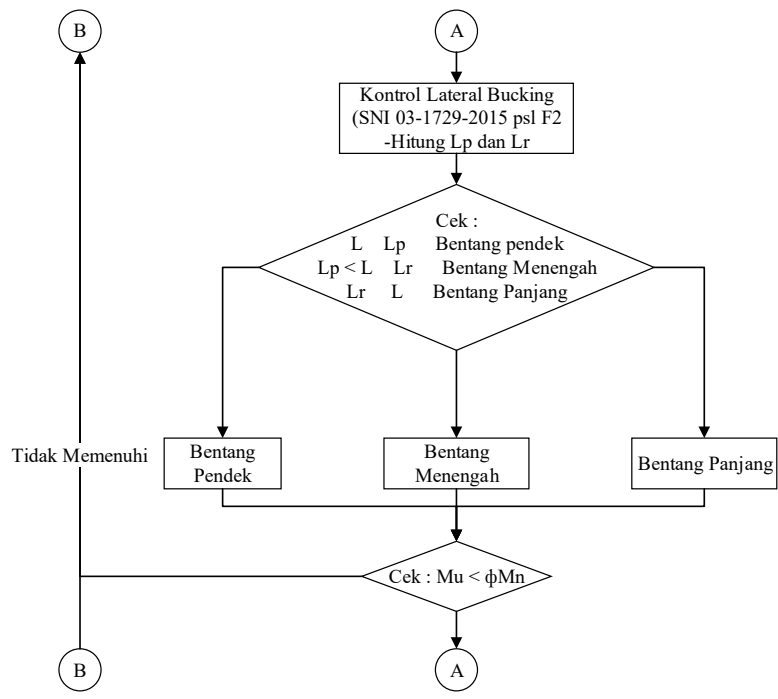
$$d_{\min} > \frac{L}{500}$$

$$10 \text{ mm} > 6,21 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

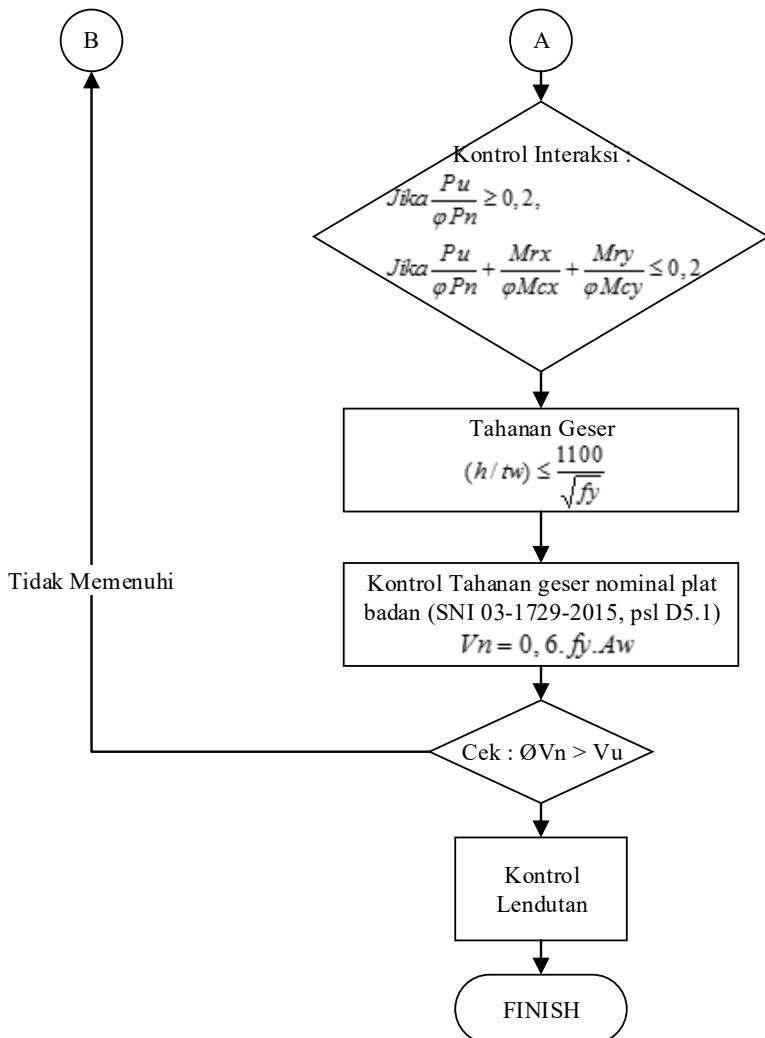
Maka ikatan angin menggunakan dimensi  $\phi 10 \text{ mm}$

#### 4.2.4 Perhitungan Kuda-Kuda





**Gambar 4. 21 Flowchart Perhitungan Kuda-Kuda**



Direncanakan profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9



W	=	36,7	kg/m
r	=	13	mm
Ag	=	46,78	cm <sup>2</sup>
Ix	=	7210	cm <sup>4</sup>
Iy	=	508	cm <sup>4</sup>
rx	=	12,4	cm
ry	=	3,29	cm
r	=	13	mm
Sx	=	481	cm <sup>3</sup>
Sy	=	67,7	cm <sup>3</sup>
B	=	150	mm
A	=	300	mm
tw	=	6,5	mm
tf	=	9	mm
d	=	256	mm



$$\begin{aligned}
 h &= 212 \text{ mm} \\
 E &= 200000 \text{ Mpa} \\
 G &= 80000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_x &= (b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + (1/4) \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2) \\
 &= 522077 \text{ mm}^3 \\
 Z_y &= (1/2 \cdot b^2 \cdot t_f) + (1/4 \cdot t_w^2 \cdot (d - 2t_f)) \\
 &= 104229 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Properti Penampang

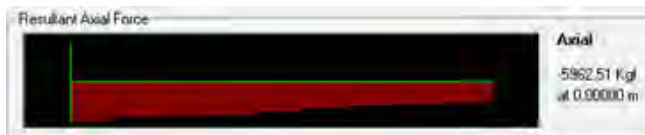
$$\begin{aligned}
 f_u &= 370 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 240 \text{ Mpa} \\
 f_r &= 70 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$L_x \text{ (panjang kuda-kuda)} = 10,97 \text{ m}$$

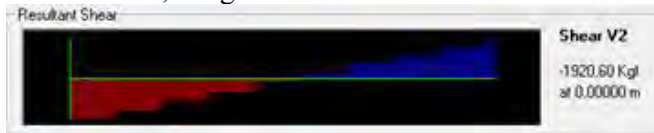
$$L_y \text{ (jarak antar gording)} = 1,2 \text{ m}$$

$$K \text{ (jepit-jepit)} = 0,5$$

Dari analisa struktur menggunakan SAP didapatkan gaya pada frame 190 akibat kombinasi 1,2 D+ 1,6 L+0,5 R sebesar :



$$P_u = 5962,51 \text{ kg}$$



$$V_u = 1920,6 \text{ kg}$$



$$M_{ux} = 4460,33 \text{ kg}$$



$M_{uy} = 60,37 \text{ kgm}$

## 1. Kontrol Kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{L \cdot k}{I} \\ \lambda_x &= \frac{L_x \cdot k}{I_x} \\ &= \frac{10,97 \text{ m} \cdot 0,5}{0,124 \text{ m}} \\ &= 44,23 \quad (\text{menentukan}) \\ \lambda_y &= \frac{L_y \cdot k}{I_y} \\ &= \frac{1,2 \text{ m} \cdot 0,5}{0,329 \text{ m}} \\ &= 30,39 \quad (\text{tidak menentukan})\end{aligned}$$

Maka parameter kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{44,43}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{200000 \text{ Mpa}}} \\ &= 0,49\end{aligned}$$

Untuk  $0,25 < \lambda_c < 1,2$  koefisien faktor tekuk adalah :

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,49} \\ &= 1,123\end{aligned}$$

## 2. Kontrol Kuat Tekan

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{A_g \cdot f_y}{\omega} \\ &= \frac{46,8 \text{ cm}^2 \cdot 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1,123} = 99962,02 \text{ kg}\end{aligned}$$

Cek syarat:

$$P_u < \phi P_n$$

$$5962,51 \text{ kg} < 0,85 \cdot 99962,02 \text{ kg}$$

$$5962,51 \text{ kg} < 84967,72 \text{ kg}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{5962,51 \text{ kg}}{84967,72 \text{ kg}} = 0,07$$

Bila  $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,2 \rightarrow$  maka digunakan persamaan interaksi sebagai berikut:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \left( \frac{M_{rx}}{\phi M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{cy}} \right) \leq 1$$

$$\frac{59625,1 \text{ N}}{849677,2 \text{ N}} + \left( \frac{44603000 \text{ Nmm}}{0,9.522077 \cdot 240} + \frac{603700 \text{ Nmm}}{0,9.104229 \cdot 240} \right) \leq 1$$

$$0,45 \leq 1 \text{ (memenuhi)}$$

### 3. Kontrol Local Buckling

- Kontrol plat sayap (flens)

$$\frac{b}{2.t_f} < 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{150}{2.9} < 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$8,33 < 10,96 \quad (\text{penampang kompak})$$

- Kontrol plat badan (web)

$$\frac{h}{t_w} < 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{300}{6,5} < 3,76 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$32,615 < 105,94 \quad (\text{penampang kompak})$$

Karena penampang kompak, maka  $M_n = M_p$

Momen nominal ( $M_n$ )

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 522077 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ Mpa} \\ &= 125300000 \text{ Nmm} \\ &= 12530 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi \cdot M_n &= 0,9 \cdot M_n \\
 &= 0,9 \cdot 12530 \text{ kgm} \\
 &= 11277 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat

$$M_u < \Phi M_n$$

$$4460,33 \text{ kg} < 11277 \text{ kgm (memenuhi)}$$

#### 4. Kontrol Lateral Buckling

$$L \leq L_p \quad = \text{bentang pendek}$$

$$L_p \leq L < L_r \quad = \text{bentang menengah}$$

$$L_r \leq L \quad = \text{bentang panjang}$$

$$\begin{aligned}
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{508}{46,78}} \\
 &= 32,95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{1}{3} \cdot ((b \cdot t_w) + (2 \cdot b \cdot t_f^3)) \\
 &= \frac{1}{3} \cdot ((150 \text{ mm} \cdot 6,5 \text{ mm}) + (2 \cdot 150 \text{ mm} \cdot (9 \text{ mm})^3)) \\
 &= 96334,67 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 h_o &= h - t_f \\
 &= 291 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \sqrt{\frac{I_y \cdot h_o}{2 \cdot S_x}} \\
 &= \sqrt{\frac{508 \cdot 29,1}{2 \cdot 481}} \\
 &= 3,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L = 10970 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1674,26 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_{x.ho}}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_{x.ho}}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1,95 \cdot 3,92$$

$$\frac{200000}{0,7 \cdot 240} \sqrt{\left(\frac{96334,1}{481000 \cdot 291}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{96334,1}{481000 \cdot 291}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 240}{200000}\right)^2}}$$

$$= 10676,62 \text{ mm}$$

$$L_r < L$$

$$10676,62 \text{ mm} < 10970 \text{ mm}$$

Karena  $L_r < L$ , maka kuda-kuda termasuk bentang panjang.

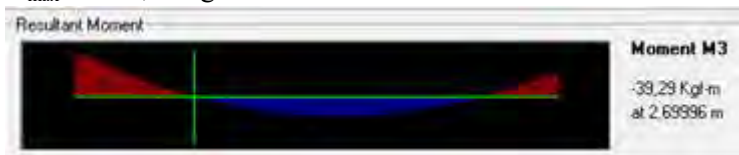
Nilai  $M_n$  dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

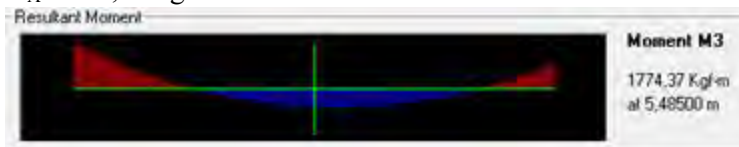
Hasil SAP pada kuda-kuda frame 190 :



$$M_{\max} = 4460,33 \text{ kgm}$$



$$M_A = 39,29 \text{ kgm}$$



$$M_B = 1774,37 \text{ kgm}$$



$$M_C = 1002,14 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} < 2,3 \\
 &= \frac{12 \cdot 4460,33 \text{ kgm}}{2,5 \cdot 4460,33 + 3 \cdot 39,29 + 4 \cdot 1774,37 + 3 \cdot 1002,14} < 2,3 \\
 &= 2,94 > 2,3 \text{ ( maka dipakai } c_b = 2,3 \text{ )}
 \end{aligned}$$

Momen nominal kuda-kuda akibat tekuk lokal:

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 104229 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ Mpa} \\
 &= 125.298.360 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left( \frac{\pi E}{L} \right)^2 I_y \cdot I_w} \\
 &= 2,3 \cdot \frac{\pi}{10970} \sqrt{2 \cdot 10^5 \text{ Mpa} \cdot 508 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot 8 \cdot 10^4 \text{ Mpa} \cdot 96334,67 \text{ Mpa} + \left( \frac{\pi \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}}{10970 \text{ mm}} \right)^2 \cdot 508 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot I_w} \\
 &= 64.611.729,26 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_{cr} \leq M_p \\
 64.611.729,26 \text{ Nmm} &\leq 125.298.360 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

## 5. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{300}{6,5} &\leq \frac{1100}{\sqrt{240}} \\
 46,15 &\leq 71 \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 291 \text{ mm} \cdot 6,5 \text{ mm} \\
 &= 27.237,6 \text{ kg} \\
 \phi V_n &= 0,9 \cdot 27.237,6 \text{ kg} \\
 &= 24.513,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Cek syarat

$$V_u < \phi V_n$$

$$1920,6 \text{ kg} < 24.513,8 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

## 6. Kontrol Lendutan

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} \frac{10970 \text{ mm}}{240} = 45,7 \text{ mm}$$

Berdasarkan output SAP didapatkan

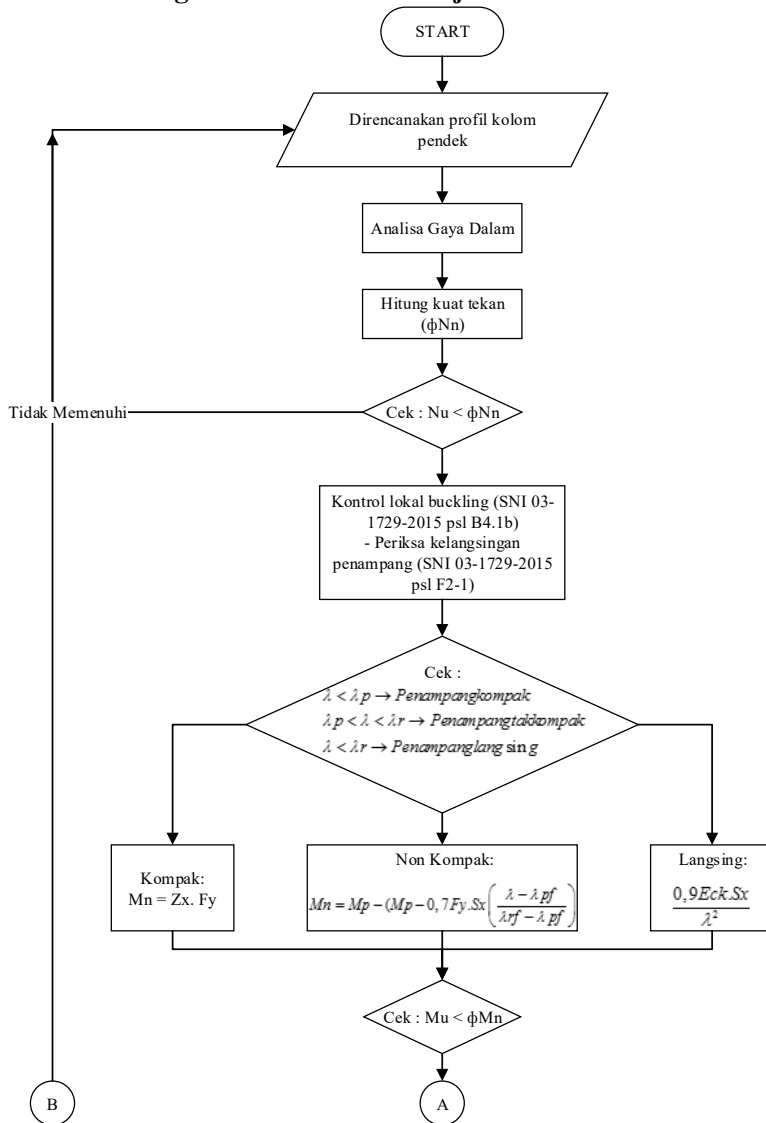
$$\Delta^o = 0,01259 \text{ m} = 12,59 \text{ mm}$$

Cek syarat

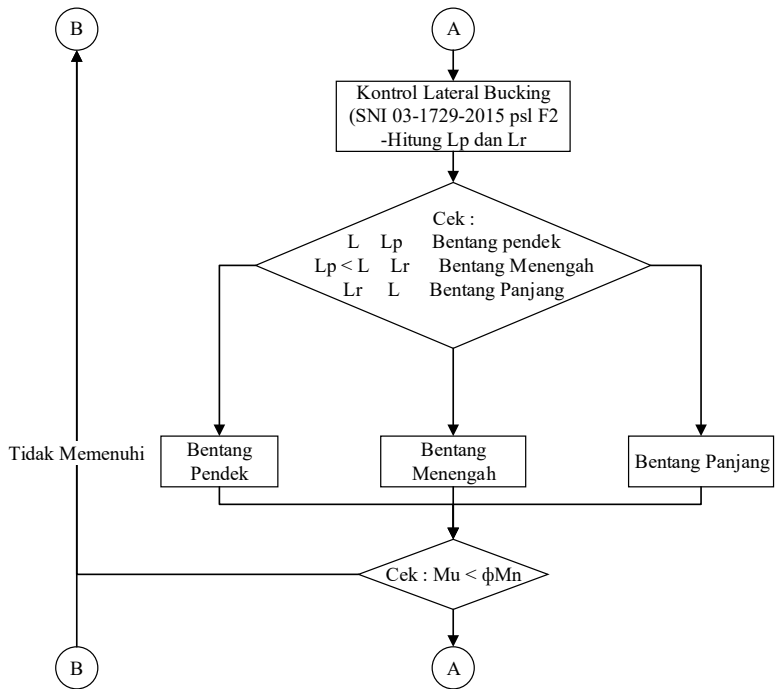
$$\Delta^o < \Delta_{ijin}$$

$$12,59 \text{ mm} < 45,7 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

### 4.2.5 Perhitungan Kolom Pendek Baja







**Gambar 4. 22 Flowchart Perthitungan Kolom Baja**

Direncanakan profil kolom pendek WF 250.250.14.14



W	=	82,2	kg/m
r	=	16	mm
Ag	=	92,18	cm <sup>2</sup>
Ix	=	11500	cm <sup>4</sup>
Iy	=	3880	cm <sup>4</sup>
rx	=	10,5	cm
ry	=	36,09	cm
Sx	=	919	cm <sup>3</sup>
Sy	=	304	cm <sup>3</sup>
B	=	250	mm
A	=	250	mm
tw	=	14	mm
tf	=	14	mm
d	=	190	mm
h	=	130	mm

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$Z_x = (b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + (1/4) \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2) \\ = 998.494 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = (1/2 \cdot b^2 \cdot t_f) + (1/4 \cdot t_w^2 \cdot (d - 2t_f)) \\ = 448.378 \text{ mm}^3$$

Properti Penampang

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

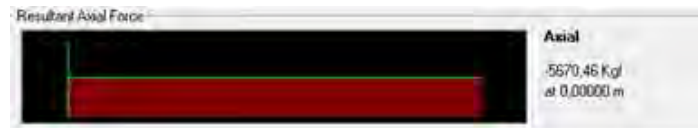
$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 70 \text{ Mpa}$$

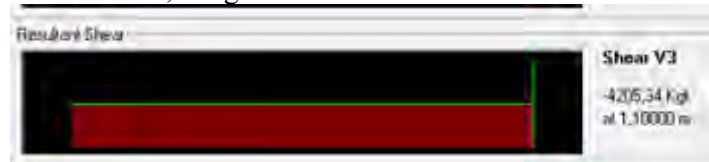
$$L_x (\text{panjang kolom}) = 1,1 \text{ m}$$

$$K (\text{jepit-jepit}) = 0,5$$

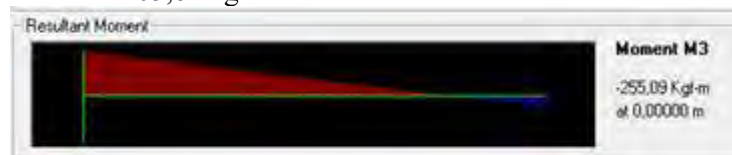
Dari analisa struktur menggunakan SAP didapatkan gaya pada frame 190 akibat kombinasi 1,2 D+ 1,6 L+0,5 R sebesar :



$$P_u = 5670,46 \text{ kg}$$



$$V_u = 4205,64 \text{ kg}$$



$$M_{ux} = 255,09 \text{ kg}$$



$$M_{uy} = 4149,06 \text{ kgm}$$

## 1. Kontrol Kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{L \cdot k}{I} \\ \lambda_x &= \frac{L_x \cdot k}{I_x} \\ &= \frac{10,1 \text{ m} \cdot 0,5}{0,105 \text{ m}} \\ &= 5,24\end{aligned}$$

Maka parameter kelangsingan

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{5,24}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{200000 \text{ Mpa}}} \\ &= 0,06\end{aligned}$$

Untuk  $\lambda_c < 0,25$  koefisien faktor tekuk adalah :

$$\omega = 1$$

## 2. Kontrol Kuat Tekan

$$\begin{aligned}P_{cr} &= \frac{A_g \cdot f_y}{\lambda_c} \\ &= \frac{92,18 \text{ cm}^2 \cdot 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,06} = 3.830.308,9 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{A_g \cdot f_y}{\omega} \\ &= \frac{92,18 \text{ cm}^2 \cdot 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1} = 221.232 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_m &= 0,6 - 0,4 \cdot (M_{ux}/M_{uy}) \\ &= 0,6 - 0,4 \cdot (255,09 \text{ kg}/4149,06 \text{ kgm}) \\ &= 0,575\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_b &= \frac{Cm}{1 - \frac{P_u}{P_{cr}}} \\ &= \frac{0,575}{1 - \frac{5670,46 \text{ kg}}{3.830.308,9 \text{ kg}}} \\ &= 0,57, \text{ maka diambil } \delta_b = 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cr}}} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{5670,46 \text{ kg}}{3.830.308,9 \text{ kg}}} \\ &= 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mu} &= \delta_b \cdot \text{Mux} + \delta_s \cdot \text{Muy} \\ &= 1 \cdot 255,09 \text{ kg} + 1 \cdot 4149,06 \text{ kgm} \\ &= 4411,1 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\begin{aligned}P_u &< \phi P_n \\ 5670,46 \text{ kg} &< 0,85 \cdot 221.232 \text{ kg} \\ 5670,46 \text{ kg} &< 188.047 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{5670,46 \text{ kg}}{188.047 \text{ kg}} = 0,03$$

Bila  $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,2 \rightarrow$  maka digunakan persamaan interaksi sebagai berikut:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \left( \frac{M_{rx}}{\phi \cdot M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{\phi \cdot M_{cy}} \right) \leq 1$$

$$\begin{aligned}\frac{56704,6 \text{ N}}{188047 \text{ N}} + \left( \frac{44111026 \text{ Nmm}}{0,9 \cdot 998.494.240} \right) &\leq 1 \\ 0,22 &\leq 1 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

### 3. Kontrol Local Buckling

- Kontrol plat sayap (flens)

$$\begin{aligned}\frac{b}{2 \cdot t_f} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{250}{2 \cdot 14} &< 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}}\end{aligned}$$

$$8,93 < 10,96 \quad (\text{penampang kompak})$$

- Kontrol plat badan (web)

$$\frac{h}{t_w} < 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{250}{14} < 3,76 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$9,3 < 105,94 \quad (\text{penampang kompak})$$

Karena penampang kompak, maka  $M_n = M_p$   
Momen nominal ( $M_n$ )

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 998.494 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ Mpa} \\ &= 239638560 \text{ Nmm} \\ &= 23964 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi \cdot M_n &= 0,9 \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 23964 \text{ kgm} \\ &= 21568 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Cek syarat

$$M_u < \Phi M_n$$

$$4149,06 \text{ kgm} < 21568 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

#### 4. Kontrol Lateral Buckling

$$L \leq L_p \quad = \text{bentang pendek}$$

$$L_p \leq L < L_r \quad = \text{bentang menengah}$$

$$L_r \leq L \quad = \text{bentang panjang}$$

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{508}{92,18}} \\ &= 64,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{1}{3} \cdot ((b \cdot t_w) + (2 \cdot b \cdot t_f^3)) \\
 &= \frac{1}{3} \cdot ((250 \text{ mm} \cdot 14 \text{ mm}) + (2 \cdot 250 \text{ mm} \cdot (14 \text{ mm})^3)) \\
 &= 631120 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 h_o &= h - t_f \\
 &= 236 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \sqrt{\frac{I_y \cdot h_o}{2 \cdot S_x}} \\
 &= \sqrt{\frac{3880 \cdot 23,6 \text{ cm}}{2 \cdot 919}} \\
 &= 7,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L = 1100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1,76 \cdot 64,87 \text{ mm} \sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}} \\
 &= 3296,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 f_y} \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}}$$

$L_r =$

$$1,95 \cdot 7,05 \cdot$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{200000}{0,7 \cdot 240} \sqrt{\left(\frac{631120 \cdot 1}{919000 \cdot 236}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{631120 \cdot 1}{919000 \cdot 236}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 240}{200000}\right)^2}} \\
 &= 39528,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L < L_p$$

$$1100 \text{ mm} < 3296,25 \text{ mm}$$

Karena  $L < L_p$ , maka kuda-kuda termasuk bentang pendek.

Nilai  $M_n$  dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_n = M_p$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 998.494 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ Mpa} \\
 &= 239638560 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi \cdot M_n &= 0,9 \cdot 239638560 \text{ Nmm} \\
 &= 215674704 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat

$$\begin{aligned}
 \Phi \cdot M_n &\leq M_u \\
 215.674.704 \text{ Nmm} &\leq 41.490.600 \text{ kgm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

## 5. Kontrol Lendutan

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} \frac{1100 \text{ mm}}{240} = 4,58 \text{ mm}$$

Berdasarkan output SAP didapatkan

$$\Delta^{\circ} = 0,37 \text{ mm}$$

Cek syarat

$$\begin{aligned}
 \Delta^{\circ} &< \Delta_{ijin} \\
 0,37 \text{ mm} &< 4,58 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

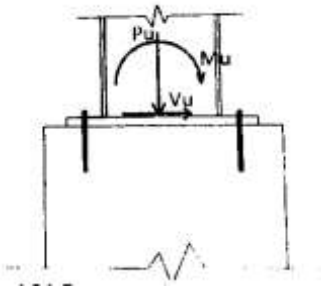
## 4.2.6 Perhitungan Pelat Landas

Data Perencanaan :

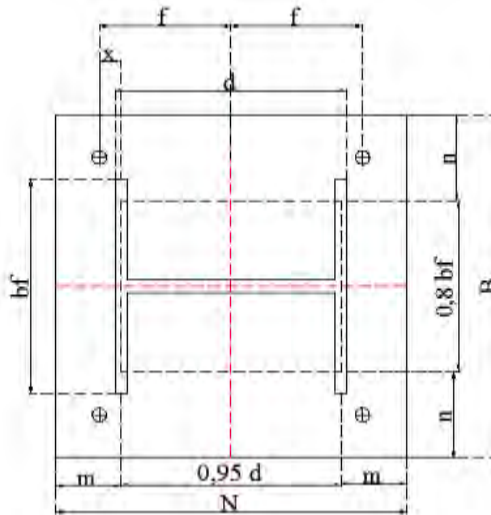
Mutu Baja BJ-37

$f_y$	= 240 Mpa
$f_u$	= 370 Mpa
$f_c'$	= 30 Mpa
$\zeta_{ijin}$	= 1600 kg/cm <sup>2</sup>
dimensi kolom	= WF 250.250.14.14
dimensi plat	= 400mm x 400 mm



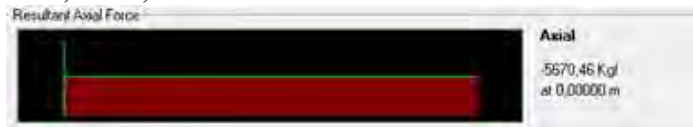


**Gambar 4. 23 Beban yang bekerja pada Pelat Landas**

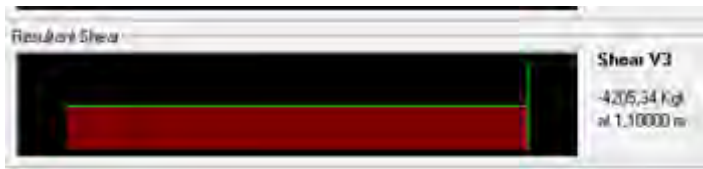


**Gambar 4. 24 Parameter perhitungan pelat landas**

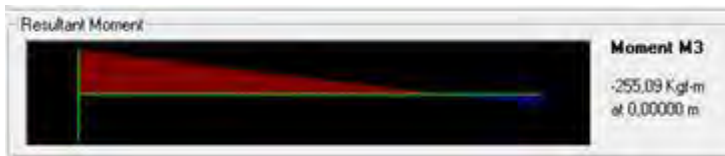
Dari analisa struktur menggunakan SAP didapatkan gaya pada frame 190 akibat kombinasi 1,2 D+ 1,6 L+0,5 R sebesar :



$$P_u = 5670,46 \text{ kg}$$



$$V_u = 4205,64 \text{ kg}$$



$$M_{ux} = 255,09 \text{ kgm}$$



$$M_{uy} = 4149,06 \text{ kgm}$$

## 6. Menghitung eksentrisitas

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{4149,06 \text{ kgm}}{5670,46 \text{ kg}} = 0,731 \text{ m} = 731 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{6} = \frac{400}{6} = 66,67 \text{ mm} < e = 731 \text{ mm}$$

Maka, termasuk kategori D

## 7. Menghitung besaran m dan x

$$m = \frac{N - 0,95.d}{2} = \frac{400 \text{ mm} - 0,95.250 \text{ mm}}{2} = 81,25 \text{ mm}$$

$$n = \frac{B - 0,8.b_f}{2} = \frac{400 \text{ mm} - 0,8.250 \text{ mm}}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$x = f - \frac{d}{2} - \frac{tf}{2} = 175 \text{ mm} - \frac{400 \text{ mm}}{2} - \frac{14 \text{ mm}}{2} = 43 \text{ mm}$$

### 8. Menghitung tegangan tumpu pada beton

$$\begin{aligned} q &= \phi_c \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot B \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \text{ diasumsikan } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2 \\ &= 0,6 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 2 \\ &= 12240 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$f + \frac{N}{2} = 175 \text{ mm} + \frac{400 \text{ mm}}{2} = 325 \text{ mm}$$

$$f + e = 175 \text{ mm} + 731 \text{ mm} = 856 \text{ mm}$$

$$Y = f + \frac{N}{2} - \sqrt{\left[ - \left( f + \frac{N}{2} \right) \right]^2 - \frac{2 P_u (f + e)}{q}}$$

$$\begin{aligned} Y &= f + \frac{N}{2} + \sqrt{\left[ - \left( f + \frac{N}{2} \right) \right]^2 - \frac{2 P_u (f + e)}{q}} \\ &= 325 \text{ mm} + \sqrt{[-(325 \text{ mm})]^2 - \frac{2 \cdot 56704,6 \text{ N} \cdot 856 \text{ mm}}{12240 \text{ N/mm}}} \\ &= 637,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= f + \frac{N}{2} - \sqrt{\left[ - \left( f + \frac{N}{2} \right) \right]^2 - \frac{2 P_u (f + e)}{q}} \\ &= 325 \text{ mm} - \sqrt{[-(325 \text{ mm})]^2 - \frac{2 \cdot 56704,6 \text{ N} \cdot 856 \text{ mm}}{12240 \text{ N/mm}}} \\ &= 12,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dipakai  $Y = 12,45 \text{ mm}$

$$\text{Periksa } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{400 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm}}{400 \text{ mm} \cdot 12,45 \text{ mm}}} = 5,667 > 2$$

$$\text{Maka diambil } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$$

$$\begin{aligned} T_u &= q \cdot Y - P_u \\ &= 12240 \text{ N/mm} \cdot 12,45 \text{ mm} - 56704,6 \text{ N} \\ &= 95712,8 \text{ N} \end{aligned}$$

### 9. Menghitung tegangan tumpu pada beton

Direncanakan 4 buah angkur diameter 16 mm dengan tipe A 307

$$F_v = 166 \text{ Mpa}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$V_{ub} = \frac{V_u}{n} = \frac{42056,4 \text{ N}}{4} = 10513,3 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot F_v \cdot A_b = 0,75 \cdot 166 \text{ Mpa} \cdot 201,06 \text{ mm}^2 = 25032,21 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot F_v \cdot A_b = 25032,21 \text{ N} > V_{ub} = 10513,3 \text{ N (memenuhi)}$$

$$F_t = 407 - 1,9 f_v \quad \text{dengan } f_v = \frac{V_{ub}}{A_b} = \frac{10513,3 \text{ N}}{201,06 \text{ mm}^2} = 52,29$$

$$F_t = 407 - 1,9 \cdot 52,29 \text{ Mpa} \\ = 307,65 \text{ Mpa} < 310 \text{ Mpa}$$

$$T_{ub} = \frac{T_u}{nt} = \frac{95712,8 \text{ N}}{4} = 23928,2 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot F_v \cdot A_b = 0,75 \cdot 307,65 \text{ Mpa} \cdot 201,06 \text{ mm}^2 \\ = 46392,63 > T_{ub} = 23928,2 \text{ N (memenuhi)}$$

Perhitungan panjang angkur

$$L_h = \frac{0,8 \cdot f_c'}{\pi \cdot d^2} = \frac{0,8 \cdot 30 \text{ Mpa}}{\pi \cdot 16^2} = 298 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

## 10. Perhitungan tebal base plate

$$t_{p \text{ perlu}} = 2,11 \cdot \sqrt{\frac{T_u \cdot x}{B \cdot f_y}} \\ = 2,11 \cdot \sqrt{\frac{95712,8 \text{ N} \cdot 43 \text{ mm}}{400 \text{ mm} \cdot 240 \text{ Mpa}}} \\ = 13,81 \text{ mm}$$

Karena  $Y = 12,45 < m = 81,25$ , maka  $t_p$  harus dibandingkan dengan

$$t_{p \text{ perlu2}} = 2,11 \cdot \sqrt{\frac{P_u \cdot \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{B \cdot f_y}}$$

$$= 2,11 \cdot \sqrt{\frac{56704,6N \cdot \left(81,25 - \frac{12,45}{2}\right)}{400mm \cdot 240 Mpa}}$$

$$= 14,04 \text{ mm}$$

Maka diambil tebal pelat landas= 15 mm

Sehingga ukuran pelat ladas yang digunakan adalah 400x400x15

## 4.2.7 Perhitungan Sambungan

### 4.2.7.1 Sambungan Antar Kuda-Kuda

Data Perencanaan:

Profil kuda-kua yang digunakan adalah 300.150.6,5.9

Tebal plat = 9 mm

$f_y$  = 240 Mpa

$f_u$  = 370 Mpa

$f_{uw} \text{ (las)}$  = 490 Mpa

$tw \text{ (las)}$  = 4 mm

$te \text{ (las)}$  =  $0,707 \cdot tw = 2,83 \text{ mm}$

diameter baut db = 19 mm

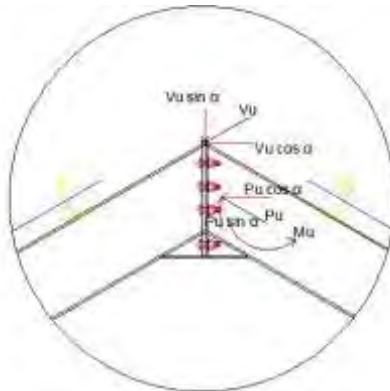
Mutu baut A325

$f_{ub}$  = 825 Mpa

jml baut (n) = 6 buah

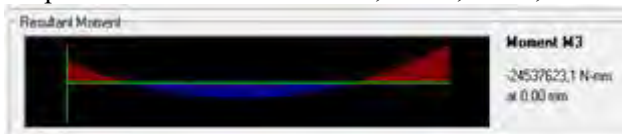
$\alpha$  =  $30^\circ$

$r_1$  = 0,5

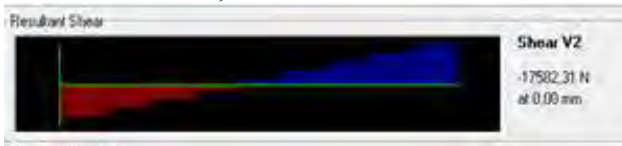


**Gambar 4. 25 Beban pada sambungan Kuda- kuda**

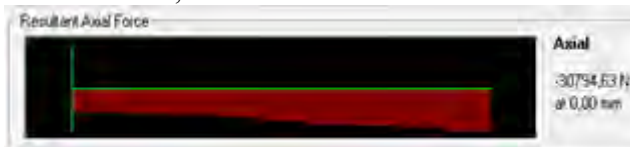
Output SAP akibat kombinasi 1,2 D+1,6L+ 0,5 R



$$Mu = 24537623,1 \text{ Nmm}$$



$$Vu = 17582,31 \text{ N}$$



$$Pu = 30794,63 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Vu \sin \alpha &= 17582,3 \text{ N} \sin 30^\circ = 8791,55 \text{ N} \\ Vu \cos \alpha &= 17582,3 \text{ N} \cos 30^\circ = 15226,72 \text{ N} \\ Pu \sin \alpha &= 30794,6 \text{ N} \sin 30^\circ = 15397,31 \text{ N} \end{aligned}$$

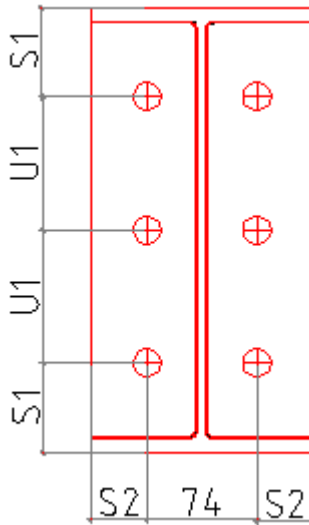
$$P_u \cos \alpha = 30794,6 \text{ N} \cos 30^\circ = 26668,93 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} P_u H &= P_u \cos \alpha + V_u \cos \alpha \\ &= 26668,93 \text{ N} + 15226,72 \text{ N} = 41895 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u V &= P_u \sin \alpha + V_u \sin \alpha \\ &= 15397,31 \text{ N} - 8791,55 \text{ N} \\ &= 6606,16 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_u = 24537623,1 \text{ Nmm}$$

## 1. Sambungan Las



Gambar 4. 26 Panjang pengelasan

### Profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$L_{\text{total}} = (2 \cdot (b - t_b)) + (2 \cdot (h - 2 t_s))$$

$$= 569 \text{ mm}$$

Kuat las sudut:

- Tahanan terhadap las

$$\begin{aligned}\Phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 2,83 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 490 \text{ Mpa} \\ &= 623,67 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

- Tahanan terhadap bahan dasar baja

$$\begin{aligned}\Phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 9 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 370 \text{ Mpa} \\ &= 999 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\Phi R_{nw} \text{ las} = 623,67 \text{ N/mm} < \Phi R_{nw} \text{ bahan dasar baja} = 999 \text{ N/mm}$$

Maka dipakai  $\Phi R_{nw} \text{ las} = 623,67 \text{ N/mm}$

$$R_u = \frac{PuV}{L_{tot}} = \frac{6606,16 \text{ N}}{569 \text{ mm}} = 11,61 \text{ N/mm}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}R_u &\leq \Phi R_{nw} \\ 11,61 \text{ N/mm} &< 637,67 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

- Akibat geser Lentur

$$\begin{aligned}S &= (b \cdot d + (d^2/6)) \\ &= 94188 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$R_u = \frac{Mu}{S} = \frac{24537623,1}{94188} = 260,5 \text{ N/mm}$$

Cek syarat

$$\begin{aligned}R_u &\leq \Phi R_{nw} \\ 260,5 \text{ N/mm} &< 637,67 \text{ N/mm} \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

## 2. Sambungan Baut

Tahanan Nominal satu Baut

- Tahanan Geser

$$\begin{aligned}V_d &= \phi \cdot m \cdot r_l \cdot f_{ub} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 825 \text{ Mpa} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 87717 \text{ N}\end{aligned}$$

- Tahanan Tumpu

$$R_d = 2,4 \cdot \phi \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$



$$= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 19 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm} \cdot 370 \text{ Mpa}$$

$$= 113886 \text{ N}$$

- Tahanan Tarik

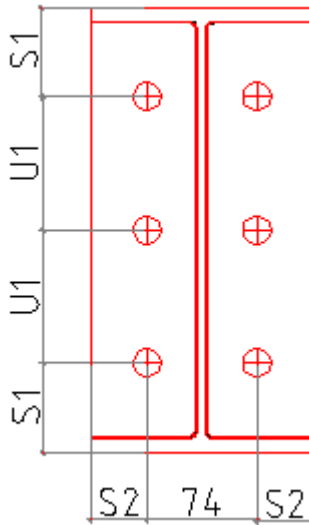
$$T_d = \phi \cdot 0,75 \cdot f_{ub} \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 825 \text{ Mpa} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2$$

$$= 131575,05 \text{ N}$$

Maka tinjauan terhadap tahanan geser menentukan

### Periksa Interaksi Geser Lentur



**Gambar 4. 27 Perencanaan Baut**

Direncanakan jumlah baut 6 buah

$$S1 = 60 \text{ mm}$$

$$S2 = 38 \text{ mm}$$

$$U = 90 \text{ mm}$$

$$d_{\max} = S1 + 2 \cdot U$$

$$= 60 \text{ mm} + 2 \cdot 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 &= 240 \text{ mm} \\
 \Sigma d^2 &= 57600 \text{ mm}^2 \\
 T_u &= \frac{Mu \cdot d_{max}}{\Sigma d^2} \\
 &= \frac{24537623,1 \text{ Nmm} \cdot 240 \text{ mm}}{57600 \text{ mm}^2} \\
 &= 102240,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat

$$T_u \leq T_d$$

102240,1 N < 131575,05 N

### Cek jarak baut

- Jarak Minimum

$$\text{Antar baut} = 3 \text{ db} = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Dari baut ke tepi} = 1,5 \text{ db} = 28,5 \text{ mm}$$

- Jarak maksimum

$$\text{Antar baut} = 15 \cdot \text{db} = 90 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dari baut ke tepi} = 12 \text{ db} = 124 \text{ mm}$$

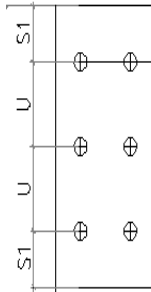
### Tinjauan Plat

- Kondisi Leleh

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= \phi \cdot A_g \cdot F_y \\
 &= 0,9 \cdot (t_p \cdot b) \cdot f_y \\
 &= 0,9 \cdot (6 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) \cdot 240 \text{ Mpa} \\
 &= 194400 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kondisi Fraktur

Kondisi fraktur 1



**Gambar 4. 28 Kondisi Fraktur 1 sambungan Baut**

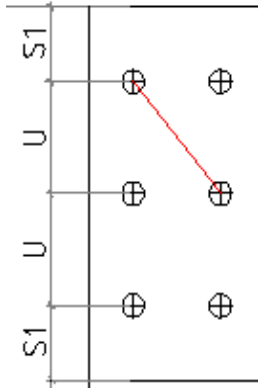
$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_g - n d_b t \\
 &= (6 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}) \\
 &= 672 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l &> 2w \\
 569 \text{ mm} &> 2 \cdot 150 \text{ mm} \\
 569 \text{ mm} &> 300 \text{ mm} \rightarrow \text{maka } U=1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_e &= U \cdot A_{nt} \\
 &= 1 \cdot 672 \text{ mm}^2 = 672 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= \phi \cdot A_e \cdot F_u \\
 &= 0,75 \cdot 672 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ Mpa} \\
 &= 186480 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kondisi Fraktur 2



**Gambar 4. 29 Kondisi Fraktur 2 sambungan Baut**

$$s = 78 \text{ mm}$$

$$u = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{nt} &= A_g - n d_b t + \frac{\sum s^2 \cdot t p}{4u} \\ &= (6 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) - (2 \cdot 19 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}) + \frac{(78 \text{ mm})^2 \cdot 6 \text{ mm}}{4 \cdot 90 \text{ mm}} \\ &= 773,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$l > 2w$$

$$569 \text{ mm} > 2 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$569 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow \text{maka } U=1$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \cdot A_{nt} \\ &= 1 \cdot 773,4 \text{ mm}^2 = 773,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= \phi \cdot A_e \cdot F_u \\ &= 0,75 \cdot 773,4 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ Mpa} \\ &= 2114619 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi N_n \text{ fraktur 1} < \phi N_n \text{ fraktur 2}$$

$$186480 \text{ N} < 2114619 \text{ N}$$

Maka dipakai  $\phi N_n \text{ fraktur 2} = 2114619 \text{ N}$

Cek syarat

$$\begin{array}{rcl}
 P_u & < & \phi N_n \\
 41895 \text{ N} & < & 2114619 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})
 \end{array}$$

#### 4.2.7.2 Sambungan Antar Kuda-Kuda dengan Kolom Pendek

Data Perencanaan:

Profil kuda-kuda yang digunakan adalah 300.150.6,5.9

Tebal plat = 9 mm

$f_y$  = 240 Mpa

$f_u$  = 370 Mpa

$f_{uw} \text{ (las)}$  = 490 Mpa

$t_w \text{ (las)}$  = 4 mm

$t_e \text{ (las)}$  =  $0,707 \cdot t_w = 2,83 \text{ mm}$

diameter baut db = 19 mm

Mutu baut A325

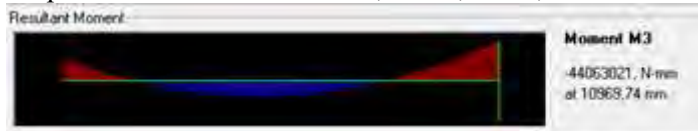
$f_{ub}$  = 825 Mpa

jml baut (n) = 6 buah

$\alpha$  =  $30^\circ$

$r_1$  = 0,5

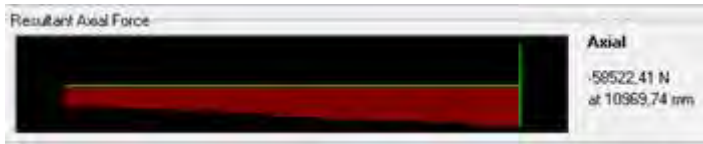
Output SAP akibat kombinasi 1,2 D+1,6L+ 0,5 R



$$M_u = 44063021 \text{ Nmm}$$



$$V_u = 18862,5 \text{ N}$$



$$P_u = 58522,41 \text{ N}$$

$$V_u \sin \alpha = 18862,5 \text{ N} \sin 30^\circ = 9431,25 \text{ N}$$

$$V_u \cos \alpha = 18862,5 \text{ N} \cos 30^\circ = 16335,4 \text{ N}$$

$$P_u \sin \alpha = 58522,41 \text{ N} \sin 30^\circ = 29261,2 \text{ N}$$

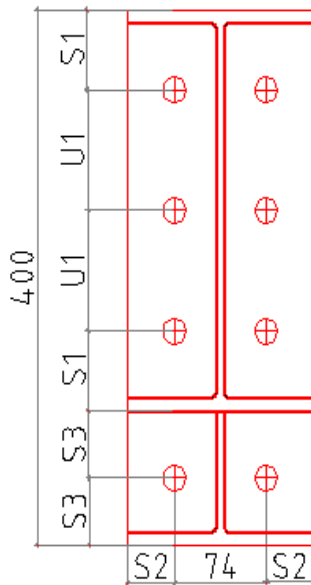
$$P_u \cos \alpha = 58522,41 \text{ N} \cos 30^\circ = 50681,9 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} P_{uH} &= P_u \cos \alpha + V_u \cos \alpha \\ &= 29261,2 \text{ N} + 16335,4 \text{ N} = 67017,29 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{uV} &= P_u \sin \alpha + V_u \sin \alpha \\ &= 29261,2 \text{ N} - 9431,25 \text{ N} \\ &= 19829,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_u = 44063021 \text{ Nmm}$$

## 1. Sambungan Las



**Gambar 4. 30 Panjang pengelasan**

**Profil kuda-kuda 1 WF 300.150.6,5.9**

**Profil kuda-kuda 2 WF 100.150.6,5.9**

$b = 150 \text{ mm}$

$h = 400 \text{ mm}$

$tw = 6,5 \text{ mm}$

$tf = 9 \text{ mm}$

$L_{total} = (4 \cdot (b - tb)) + (2 \cdot (h - 2 \cdot ts))$   
 $= 1322 \text{ mm}$

Kuat las sudut:

- Tahanan terhadap las

$$\begin{aligned} \Phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 2,83 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 490 \text{ Mpa} \\ &= 623,67 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

- Tahanan terhadap bahan dasar baja

$$\begin{aligned}\Phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 9 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 370 \text{ Mpa} \\ &= 999 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

$$\Phi R_{nw} \text{ las} = 623,67 \text{ N/mm} < \Phi R_{nw} \text{ bahan dasar baja} = 999 \text{ N/mm}$$

$$\text{Maka dipakai } \Phi R_{nw} \text{ las} = 623,67 \text{ N/mm}$$

$$R_u = \frac{P_u V}{L_{tot}} = \frac{41895,67 \text{ N}}{1322 \text{ mm}} = 31,69 \text{ N/mm}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}R_u &\leq \Phi R_{nw} \\ 31,69 \text{ N/mm} &< 637,67 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

- Akibat geser Lentur

$$\begin{aligned}S &= (b \cdot d + (d^2/6)) \\ &= 522448,67 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$R_u = \frac{44063021}{S} = \frac{24537623,1}{522448,67} = 260,5 \text{ N/mm}$$

Cek syarat

$$\begin{aligned}R_u &\leq \Phi R_{nw} \\ 31,96 \text{ N/mm} &< 637,67 \text{ N/mm} \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

## 2. Sambungan Baut

Tahanan Nominal satu Baut

- Tahanan Geser

$$\begin{aligned}V_d &= \phi \cdot m \cdot r_l \cdot f_{ub} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 825 \text{ Mpa} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 87717 \text{ N}\end{aligned}$$

- Tahanan Tumpu

$$\begin{aligned}R_d &= 2,4 \cdot \phi \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 19 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm} \cdot 370 \text{ Mpa} \\ &= 113886 \text{ N}\end{aligned}$$

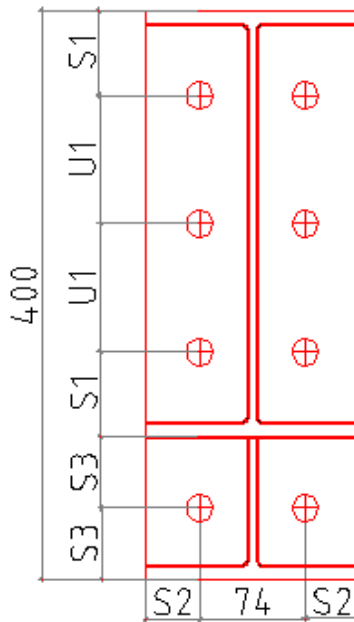
- Tahanan Tarik

$$\begin{aligned}T_d &= \phi \cdot 0,75 \cdot f_{ub} \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 825 \text{ Mpa} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \\ &= 131575,05 \text{ N}\end{aligned}$$

Maka tinjauan terhadap tahanan geser menentukan



### Periksa Interaksi Geser Lentur



**Gambar 4. 31 Perencanaan baut**

$$\begin{aligned}
 S1 &= 60 \text{ mm} \\
 S2 &= 38 \text{ mm} \\
 S3 &= 50 \text{ mm} \\
 U &= 90 \text{ mm} \\
 d_{\max} &= 2.S3+S1+ 2.U \\
 &= 100 \text{ mm}+60 \text{ mm}+ 2. 90 \text{ mm} \\
 &= 340 \text{ mm} \\
 \Sigma d^2 &= 115600 \text{ mm}^2 \\
 T_u &= \frac{M_u \cdot d_{\max}}{\Sigma d^2} \\
 &= \frac{44063021 \text{ Nmm} \cdot 340 \text{ mm}}{115600 \text{ mm}^2} \\
 &= 129597,12 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat

$$T_u \leq T_d$$

$$129597,12 \text{ N} < 131575,05 \text{ N}$$

**Cek jarak baut**

- Jarak Minimum

$$\text{Antar baut} = 3 \text{ db} = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Dari baut ke tepi} = 1,5 \text{ db} = 28,5 \text{ mm}$$

- Jarak maksimum

$$\text{Antar baut} = 15 \cdot \text{db} = 90 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dari baut ke tepi} = 12 \text{ db} = 124 \text{ mm}$$

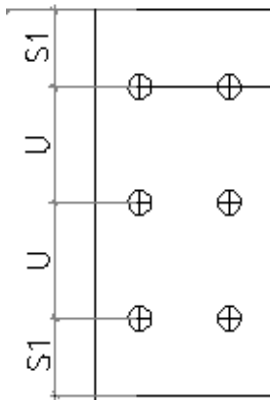
**Tinjauan Plat**

- Kondisi Leleh

$$\begin{aligned} \phi N_n &= \phi \cdot A_g \cdot F_y \\ &= 0,9 \cdot (t_p \cdot b) \cdot f_y \\ &= 0,9 \cdot (6 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) \cdot 240 \text{ Mpa} \\ &= 194400 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kondisi Fraktur

Kondisi fraktur 1



**Gambar 4. 32 Kondisi Fraktur 1 sambungan Baut**

$$A_{nt} = A_g - n d_b \cdot t$$

$$= (6\text{mm} \cdot 150\text{ mm}) - (2 \cdot 19\text{mm} \cdot 6\text{mm})$$

$$= 672\text{ mm}^2$$

$$l > 2w$$

$$569\text{ mm} > 2 \cdot 150\text{ mm}$$

$$569\text{ mm} > 300\text{ mm} \rightarrow \text{maka } U=1$$

$$A_e = U \cdot A_{nt}$$

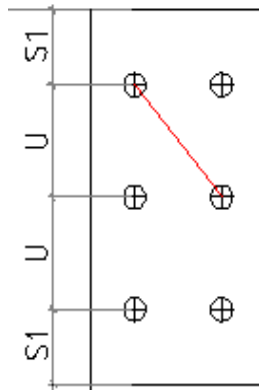
$$= 1 \cdot 672\text{ mm}^2 = 672\text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = \phi \cdot A_e \cdot F_u$$

$$= 0,75 \cdot 672\text{ mm}^2 \cdot 370\text{ Mpa}$$

$$= 186480\text{ N}$$

Kondisi Fraktur 2



**Gambar 4. 33 Kondisi Fraktur 2 sambungan Baut**

$$s = 78\text{ mm}$$

$$u = 90\text{ mm}$$

$$A_{nt} = A_g - n d_b t + \Sigma \frac{s^2 \cdot t_p}{4u}$$

$$= (6\text{mm} \cdot 150\text{ mm}) - (2 \cdot 19\text{mm} \cdot 6\text{mm}) + \frac{(78\text{mm})^2 \cdot 6\text{mm}}{4 \cdot 90\text{mm}}$$

$$= 773,4\text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 l &> 2w \\
 569 \text{ mm} &> 2 \cdot 150 \text{ mm} \\
 569 \text{ mm} &> 300 \text{ mm} \rightarrow \text{maka } U=1 \\
 A_e &= U \cdot A_{nt} \\
 &= 1 \cdot 773,4 \text{ mm}^2 = 773,4 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= \phi \cdot A_e \cdot F_u \\
 &= 0,75 \cdot 773,4 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ Mpa} \\
 &= 2114619 \text{ N} \\
 \phi N_n \text{ fraktur 1} &< \phi N_n \text{ fraktur 2} \\
 186480 \text{ N} &< 2114619 \text{ N} \\
 \text{Maka dipakai } \phi N_n \text{ fraktur 2} &= 2114619 \text{ N} \\
 \text{Cek syarat} \\
 P_u &< \phi N_n \\
 41895 \text{ N} &< 2114619 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

### 4.3 Pembebanan Struktur

#### 4.3.1 Pembebanan Pelat

Beban yang ada pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan Peraturan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung Perencanaan sesuai SNI 03-1727-2013. Komponen pelat menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Beban mati sesuai SNI 03-1727-2013 berdasarkan keadaan sebenarnya, dalam perencanaan ini beban mati didapatkan dari brosur. Beban hidup (LL) dibagi menjadi beban hidup ruang kelas dan beban hidup koridor.

- Beban Mati (DL) Pelat LT 2-4
  - Berat spesi (3 cm) = 20 kg/m<sup>2</sup>
  - Keramik (2cm) = 16,5 kg/m<sup>2</sup>
  - Plafond+ penggantung = 8 kg/m<sup>2</sup>
  - Listrik = 40 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{array}{rcl} \text{Pemipaaan} & = & 25 \text{ kg/m}^2 + \\ \text{Berat total} & = & 109,5 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

- Beban Mati (DL) Pelat LT atap  
 Plafond+ penggantung= 8 kg/m<sup>2</sup>  
 Listrik = 40 kg/m<sup>2</sup>  
 $\text{Pemipaaan} = 25 \text{ kg/m}^2 +$   
 Berat total = 87 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Hidup (LL) Pelat LT 2-4  
 Ruang kelas = 1,92 kn/m<sup>2</sup> = 192 kg/m<sup>2</sup>  
 Koridor = 3,83 kn/m<sup>2</sup> = 383 kg/m<sup>2</sup>

#### 4.3.2 Pembebanan Tangga

Beban yang ada pada komponen struktur tangga disesuaikan dengan Peraturan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung Perencanaan sesuai SNI 03-1727-2013. Dan karena komponen struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yaitu 1,2 DL + 1,6 LL

- Beban pada pelat bordes:  
 Beban mati (DL) pelat lantai :  
 Berat spesi (3 cm) = 20 kg/m<sup>2</sup>  
 Keramik (2cm) = 16,5 kg/m<sup>2</sup>  
 Ralling = 53 kg/m<sup>2</sup>  
 Beban hidup (LL) pelat bordes :  
 Beban terpusat tunggal = 135,622 kg
- Beban pada pelat tangga:  
 Beban mati (DL) pelat tangga :  
 Berat Anak tangga = 185,2 kg/m<sup>2</sup>  
 Berat spesi (3 cm) = 20 kg/m<sup>2</sup>  
 Keramik (2cm) = 16,5 kg/m<sup>2</sup>  
 Ralling = 238,2 kg/m<sup>2</sup>

Beban hidup (LL) pelat lantai :  
 Beban terpusat tunggal = 135,622 kg

#### **4.3.3 Pembebanan Dinding**

Pembebanan komponen struktur dinding didistribusikan pada komponen struktur balok dalam pemodelan struktur SAP 2000 yang searah vertikal komponen struktur balok.

Distribusi beban komponen struktur dinding ke komponen struktur balok dikarenakan beban pada komponen struktur dinding berupa beban luasan sedangkan beban pada struktur balok merupakan beban merata sehingga beban dinding harus dikonversikan ke beban balok.

Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan Peraturan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung Perencanaan sesuai SNI 03-1727-2013 yang menyatakan bahwa berat mati dinding sesuai dengan keadaan sebenarnya. Dalam perencanaan ini, beban dinding didapatkan dari brosur sebesar  $90 \text{ kg/m}^2$

#### **4.3.4 Pembebanan Gempa**

Berdasarkan SNI 1726:2012 suatu bangunan gedung dibedakan menjadi dua kategori antara lain: bangunan gedung beraturan dan tidak beraturan. Pada penentuan kategori suatu bangunan gedung dapat dikategorikan sebagai bangunan gedung beraturan atau tidak beraturan haruslah memenuhi beberapa persyaratan yang tercantum pada tabel 10 untuk jenis ketidak beraturan horizontal dan tabel 11 untuk jenis ketidak beraturan vertikal.

Bangunan gedung Fakultas Tarbiyah UINSA Surabaya termasuk dalam kategori bangunan gedung beraturan, hal ini dikarenakan memenuhi persyaratan yang diatur pada tabel 10 dan tabel 11. Karena bangunan merupakan bangunan beraturan, maka perhitungan gempa menggunakan Statik ekuivalen

4.3.4.1 Perhitungan Statik Ekuivalen



Gambar 4. 34 Distribusi Berat Bangunan tiap Lantai

- Beban Gempa yang terjadi
- Bangunan 1**  
Berat Lantai 1

Tabel 4. 3 Berat Lantai 1 Bangunan 1

W1						
Beban Mati						
Komponen	b (m)	h (m)	Panjang (m)	Banyak	BJ (kg/m3)	Berat (kg)
Kolom 50/50	0,5	0,5	3,7	32	2.400	71040
Sloof 40/60	0,4	0,6	371	1	2.400	213696
Plat Lantai	0	0	0	0	-	257184
Dinding	0	0		0	-	52425
Plat Tangga	0	0		0	-	2734 ,6
Plat Bordes	0	0		0	-	2270,6
Total W1						596615,6





### Berat Lantai 3

**Tabel 4. 5 Berat Lantai 3 Bangunan 1**

W3						
Beban Mati						
Komponen	b m	h m	Panjang (m)	Banyak	BJ (kg/m <sup>3</sup> )	Berat (kg)
Kolom 50/50	0,5	0,5	4	32	2.400	76800
Balok induk 40/60	0,4	0,6	340	1	2.400	195840
Balok Anak 30/50	0,3	0,5	193	1	2400	69480
Plat Lantai	0	0	0	0	-	246279,08
Dinding	0	0		0	-	102285
Plat Tangga	0	0		0	-	5469,2
Plat Bordes	0	0		0	-	2270,6
Total						<b>690098,88</b>
Beban Mati Tambahan						
Komponen	Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m <sup>2</sup> )		Berat (kg)	
Spesi	20		854		17083	
Keramik	16,5		854		14093,475	
Plafond	8		854		6833,2	
AC dan instalasi	40		854		34166	
Pipa Plambing	25		854		21353,75	
Total	<b>110</b>		<b>4.271</b>		<b>93529,425</b>	
Beban Hidup						
Komponen	Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m <sup>2</sup> )		Berat (kg)	
Kelas	<b>192</b>		<b>696</b>		<b>133632</b>	
Koridor	<b>383</b>		<b>158</b>		<b>60514</b>	
Total						<b>194146</b>
Total W3						<b>977774,31</b>



## Berat Lantai atap

**Tabel 4. 7 Berat Lantai Atap Bangunan 1**

W5						
Beban Mati						
Komponen	b m	h m	Panjang (m)	Banyak	BJ (kg/m3)	Berat (kg)
Kolom 50/50	0,5	0,5	2,125	14	2.400	17850
Balok induk Dak 40/60	0,4	0,6	104	1	2.400	59904
Balok Anak dak 30/50	0,3	0,5	14	1	2400	5040
Plat dak atap	0	0	0	0	-	38348,2
Ring Balk 40/60	0,4	0,6	16	1	2.400	9216
Balok anak 30/50	0,3	0,5	20	1	2400	7200
WF 300.150.6,5.9						9872,48
WF 250.250.14.14						6862,88
WF 250.125.6.9						2443,9
Ikatan angin $\phi$ 10						470,11
Penggantung gording						309,26
Total						219526
Beban Mati Tambahan						
Komponen	Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m2)		Berat (kg)	
Aspal	14		345		4832,24	
Plafond	8		345		2761,28	
Penutup atap	48		345		47940	
Pipa Plambing	25		345		8692	
Total	110		4.271		77968,92	
Beban Hidup						
Komponen	Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m2)		Berat (kg)	
Pekerja	133		999		77968	
Air Hujan	6,98		345		1898	
Total W5						344070







## Berat Lantai 4

Tabel 4. 11 Berat Lantai 4 Bangunan 2

W4						
Beban Mati						
Komponen	b m	h m	Panjang (m)	Banyak	BJ (kg/m3)	Berat (kg)
Kolom 50/50	0,5	0,5	4,125	10	2.400	24750
Balok induk 40/60	0,4	0,6	135,8	1	2.400	78220,8
Balok Anak 30/50	0,3	0,5	71,6	1	2400	25776
Plat Lantai	0	0	0	0	-	85347,8
Dinding	0	0		0	-	55404
Plat Tangga	0	0		0	-	4687,9
Plat Bordes	0	0		0	-	1946,24
Total						284946,76
Komponen		Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m2)		Berat (kg)
Spesi		20		313		6252
Keramik		16,5		313		5157,9
Plafond		8		313		2500,8
AC dan instalasi		40		313		12504
Pipa Plambing		25		313		7815
Total		110				34229,7
Beban Hidup						
Komponen		Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m2)		Berat (kg)
Kelas		192		220,88		42408,96
Koridor		383		91,8		35159,4
Total						77568,36
Total W4						377124,63

Berat gempa Lantai atap

**Tabel 4. 12 Berat Lantai atap Bangunan 2**

W5						
Beban Mati						
Komponen	b m	h m	Panjang m	Banyak	BJ (kg/m3)	Berat (kg)
Kolom 50/50	0,5	0,5	2,125	10	2.400	12750
Balok induk Dak 40/60	0,4	0,6	38,8	1	2.400	22348,8
Balok Anak dak 30/50	0,3	0,5	6,6	1	2400	2376
Plat dak atap	0	0	0	0	-	14028
Ring Balk 40/60	0,4	0,6	16	1	2.400	40320
Balok anak 30/50	0,3	0,5	20	1	2400	8568
WF 300.150.6,5.9						4811,5
WF 250.250.14.14						2094,78
Gording						2463,95
WF 250.125.6.9						723,06
Ikatan angin $\phi$ 10						107,53
Penggantung gording						108,64
Total						148345
Beban Mati Tambahan						
Komponen	Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m2)		Berat (kg)	
Aspal	14		179		2510,2	
Plafond	8		179		1434	
Penutup atap	48		378		181504	
Pipa Plambing	25		179		4483	
Total	110		4.271		33749	
Beban Hidup						
Komponen	Beban (kg/m <sup>2</sup> )		Luas (m2)		Berat (kg)	
Pekerja	133		378		77968	
Air Hujan	6,98		345		1898	
Total W5						206260



**Tabel 4. 13 Rekapitulasi Berat tiap Lantai Bangunan 1**

Komponen	Beban (Kg)
Komponen Lantai dasar (W0)	0
Komponen pada lantai 1 (W1)	255024,71
Komponen pada lantai 2 (W2)	409080,82
Komponen pada lantai 3 (W3)	396744,82
Komponen pada lantai 4 (W4)	377124,63
Komponen pada lantai atap (W5)	206260,56
Total (W)	<b>1644235,54</b>

**Tabel 4. 14 Rekapitulasi Berat tiap Lantai Bangunan 2**

Komponen	Beban (Kg)
Komponen Lantai dasar (W0)	0
Komponen pada lantai 1 (W1)	255024,71
Komponen pada lantai 2 (W2)	409080,82
Komponen pada lantai 3 (W3)	396744,82
Komponen pada lantai 4 (W4)	377124,63
Komponen pada lantai atap (W5)	206260,56
Total	<b>1644235,54</b>

- a. Syarat bangunan tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen menengah
1. Untuk penggunaan sistem rangka pemikul momen menengah harus memenuhi kategori desain seismik C
  2. Menurut SNI gempa 2012 KDS C harus memenuhi ketentuan sebagai berikut

**Tabel 4. 15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek**

Nilai $SD_s$	Kategori Resiko	
	I, II,III	IV
$SD_s < 0.167$	A	A
$0.167 \leq SD_s \leq 0.33$	B	C
$0.33 \leq SD_s \leq 0.167$	C	D
$0.33 \leq SD_s$	D	D

**Tabel 4. 16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik**

Nilai $SD_s$	Kategori Resiko	
	I,II ,III	IV
$SD_1 < 0.167$	A	A
$0.167 \leq SD_s \leq 0.33$	B	C
$0.133 \leq SD_1 \leq 0.20$	C	D
$0.20 \leq SD_1$	D	D

b. Mencari nilai N-SPT

**Tabel 4. 17 Nilai N-SPT**

<b>Tebal Lapisan</b>	<b>Jenis Tanah</b>	<b>Nilai N-SPT</b>
6	Lempung Berlanau Berpasir Berkerikil	50,5
4	Pasir Berkerikil Berlempung Berlanau	47,5
12	Lempung Berlanau Berpasir	53,67
3	Pasir Berkerikil Berlempung Berlanau	60
5	Lempung Berlanau	57,3

Dari tabel diatas didapatkan nilai  $\sum d_i$

30

Maka dapat dihitung  $\sum (d_i/N_i)$

0,5639

Dari perhitungan nilai  $\sum d_i$  dan nilai  $\sum N_i$   
didapatkan nilai N rata-rata =

53,20365457

Dengan hasil N rata-rata tersebut, maka sesuai dengan SNI 1726:2012 dapat didefinisikan bahwa tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi tanah keras

Untuk menentukan spektrum respon desain untuk lokasi proyek data yang diperlukan adalah:

Ss (percepatan batuan dasar pada perioda pendek daerah Sumenep)	=	0,4
S1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik daerah Sumenep)	=	0,1
Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (Fa)	=	1,2
Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (Fv)	=	1,7
Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (Sms) = $F_a \cdot S_s$	=	0,48
Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (Sm1) = $F_v \cdot S_1$	=	0,17
Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (Sds) = $2/3 \cdot S_{ms}$	=	0,32
Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik (Sd1) = $2/3 \cdot S_{m1}$	=	0,1133

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,1133}{0,32} = 0,35$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s = 0,07$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } C_t \text{ untuk rangka beton pemikul momen} &= 0,0466 \\ \text{hm} &= 23,99\text{m} \\ x &= 0,9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_a &= C_t \cdot h_n^x \\ &= 0,642 \\ C_u \cdot T_a &= 1,092 \\ T_c &= 0,729\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{syarat : } T_a &< T_c < C_u \cdot T_a \text{ maka gunakan } T = T_c \\ \text{Maka } T &= 0,729\end{aligned}$$

Mencari koefisien respon seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{SDS}{R/I_e} = \frac{0,33}{3/1,5} = 0,096$$

$$\begin{aligned}\text{syarat: nilai } C_s \text{ tidak lebih dari } \frac{SD1}{T(\frac{R}{I_e})} &= 0,04664 \\ \text{nilai } C_s \text{ tidak boleh lebih kecil dari } 0,044 &= 0,21120 \\ Sds \cdot I_e & \\ \text{maka nilai } C_s \text{ diambil} &= 0,04664\end{aligned}$$

Mencari gaya geser dasar

Bangunan 1

$$\begin{aligned}V_1 &= C_s \cdot W \\ &= 161023,75 \text{ kg}\end{aligned}$$

Bangunan 2

$$\begin{aligned}V_2 &= C_s \cdot W \\ &= 78406 \text{ kg}\end{aligned}$$

Nilai gaya geser per lantai (F)

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \times V$$

Bangunan 1

**Tabel 4. 18 Gaya gempa lateral (F<sub>x</sub>) Bangunan 1**

Lantai	hi (m)	wi (kg)	wi.hi <sup>k</sup> (kgm)	Cvx	Fi
Lt. Dasar (F0)	0	0	-	-	-
Lt. 1 (F1)	3,7	627.792	2.698.215,610	0,055	8.824,44
Lt. 2 (F2)	8,2	995.699	10.388.999,909	0,211	33.976,93
Lt. 3 (F3)	12,2	977.774	15.884.979,237	0,323	51.951,38
Lt. 4 (F4)	16,325	507.202	11.400.032,069	0,232	37.283,48
Lt. 5 Atap (F5)	18,45	344.071	8.863.407,859	0,180	28.987,53
Jumlah		3.452.539	49.235.634,69	1	161.023,75

Bangunan 2

**Tabel 4. 19 Gaya gempa lateral (F<sub>x</sub>) Bangunan 2**

Lantai	hi (m)	wi (kg)	wi.hi <sup>k</sup> (kgm)	Cvx	Fi
Lt. Dasar (F0)	0	0	0	-	-
Lt. 1 (F1)	3,7	255.025	1.096.082,096	0,043	3.357,09
Lt. 2 (F2)	8,2	409.081	4.268.297,246	0,167	13.072,97
Lt. 3 (F3)	12,2	396.745	6.445.539,831	0,252	19.741,44
Lt. 4 (F4)	16,325	377.125	8.476.367,493	0,331	25.961,47
Lt. 5 Atap (F5)	18,45	206.261	5.313.358,843	0,208	16.273,79
Jumlah		1.644.236	25.599.645,51	1,000	78.406,74

Mencari titik berat, pusat kekakuan dan eksentrisitas  
Bangunan 1

**Tabel 4. 20 Pusat massa, pusat kekakuan, eksentrisitas, dan momen yang ditimbulkan pada Bangunan 1**

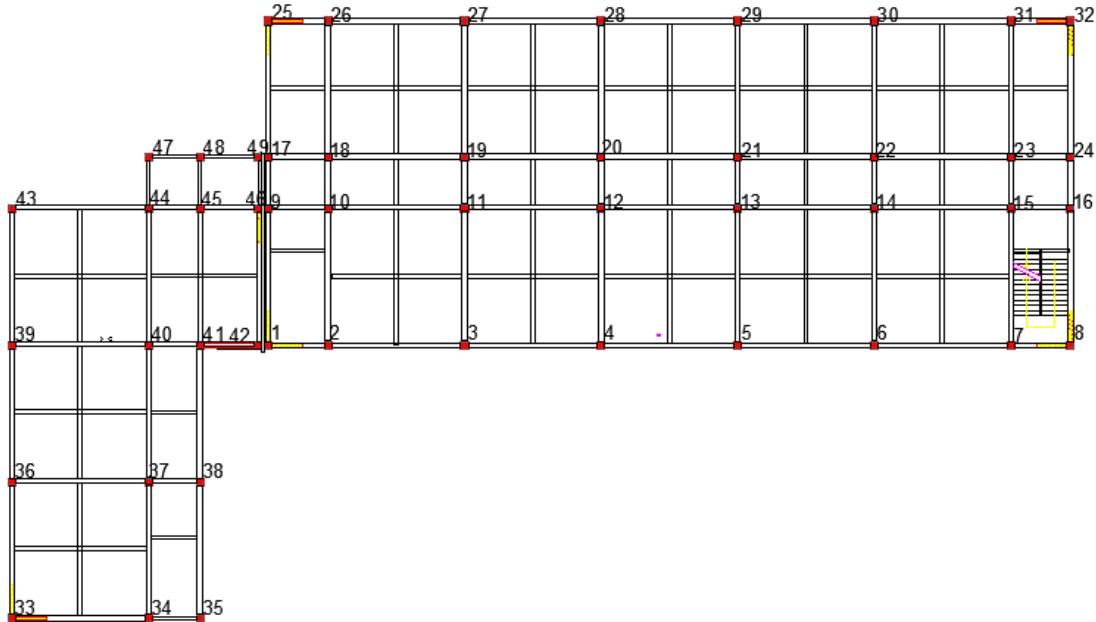
Lantai	pusat massa		pusat kekakuan		eksentrisitas		MX	MY
	X	Y	X	Y	ex	ey		
1	23,547	9,394	23,5	9,5	0,047	0,106	410,899	934,162
2	23,512	9,575	23,5	9,5	0,012	0,075	412,880	2543,114
3	23,533	9,601	23,5	9,5	0,033	0,101	1709,435	5235,529
4	23,535	9,606	23,5	9,5	0,035	0,106	1286,821	3937,723
atap	23,322	9,540	23,5	9,5	0,178	0,040	5154,280	1159,479

Bangunan 2

**Tabel 4. 21 Pusat massa, pusat kekakuan, eksentrisitas, dan momen yang ditimbulkan pada Bangunan 1**

Lantai	pusat massa		pusat kekakuan		eksentrisitas		M	
	X	Y	X	Y	ex	ey	MX	MY
1	10,76	14,14	8,17	15,59	2,60	1,45	8716,96	4869,14
2	6,68	13,84	8,17	15,59	1,49	1,75	19452,04	22903,99
3	6,64	13,73	8,17	15,59	1,52	1,86	30019,84	36747,64
4	6,65	13,73	8,19	15,59	1,54	1,86	40020,55	48355,52
atap	9,25	17,26	8,19	16,07	1,06	1,19	17270,13	19417,05

Menghitung Beban Gempa Tiap joint



Gambar 4. 35 Joint yang menerima gaya gempa

Bangunan 1  
Lantai 1

**Tabel 4. 22 Gaya gempa tiap joint Lantai 1 Bangunan 1**

NO.	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	3'-C	-23,5	-9,5	552,25	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,678	269,767
2	4-C	-20	-9,5	400	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,840	269,767
3	5-C	-12	-9,5	144	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,210	269,767
4	6-C	-4	-9,5	16	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,579	269,767
5	7-C	4	-9,5	16	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,948	269,767
6	8-C	12	-9,5	144	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,318	269,767
7	9-C	20	-9,5	400	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,687	269,767
8	10-C	23,5	-9,5	552,25	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,849	269,767
9	3'-D	-23,5	-1,5	552,25	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,678	274,817
10	4-D	-20	-1,5	400	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,840	274,817
11	5-D	-12	-1,5	144	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,210	274,817
12	6-D	-4	-1,5	16	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,579	274,817
13	7-D	4	-1,5	16	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,948	274,817
14	8-D	12	-1,5	144	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,318	274,817



15	9-D	20	-1,5	400	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,687	274,817
16	10-D	23,5	-1,5	552,25	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,849	274,817
17	3'-E	-23,5	1,5	552,25	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,678	276,710
18	4-E	-20	1,5	400	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,840	276,710
19	5-E	-12	1,5	144	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,210	276,710
20	6-E	-4	1,5	16	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,579	276,710
21	7-E	4	1,5	16	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,948	276,710
22	8-E	12	1,5	144	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,318	276,710
23	9-E	20	1,5	400	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,687	276,710
24	10-E	23,5	1,5	552,25	2,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,849	276,710
25	3'-F	-23,5	9,5	552,25	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,678	281,760
26	4-F	-20	9,5	400	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	274,840	281,760
27	5-F	-12	9,5	144	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,210	281,760
28	6-F	-4	9,5	16	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,579	281,760
29	7-F	4	9,5	16	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	275,948	281,760
30	8-F	12	9,5	144	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,318	281,760
31	9-F	20	9,5	400	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,687	281,760
32	10-F	23,5	9,5	552,25	90,25	8824,438	8824,438	410,899	934,162	276,849	281,760
Jumlah				8898	1480					8824,438	8824,438

## Lantai 2

Tabel 4. 23 Gaya gempa tiap joint Lantai 2 Bangunan 1

NO.	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	3'-C	-23,50	-9,50	552,25	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,69	1045,46
2	4-C	-20,00	-9,50	400,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,85	1045,46
3	5-C	-12,00	-9,50	144,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,22	1045,46
4	6-C	-4,00	-9,50	16,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,59	1045,46
5	7-C	4,00	-9,50	16,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,96	1045,46
6	8-C	12,00	-9,50	144,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,34	1045,46
7	9-C	20,00	-9,50	400,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,71	1045,46
8	10-C	23,50	-9,50	552,25	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,87	1045,46
9	3'-D	-23,50	-1,50	552,25	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,69	1059,20
10	4-D	-20,00	-1,50	400,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,85	1059,20
11	5-D	-12,00	-1,50	144,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,22	1059,20
12	6-D	-4,00	-1,50	16,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,59	1059,20
13	7-D	4,00	-1,50	16,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,96	1059,20
14	8-D	12,00	-1,50	144,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,34	1059,20

15	9-D	20,00	-1,50	400,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,71	1059,20
16	10-D	23,50	-1,50	552,25	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,87	1059,20
17	3'-E	-23,50	1,50	552,25	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,69	1064,36
18	4-E	-20,00	1,50	400,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,85	1064,36
19	5-E	-12,00	1,50	144,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,22	1064,36
20	6-E	-4,00	1,50	16,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,59	1064,36
21	7-E	4,00	1,50	16,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,96	1064,36
22	8-E	12,00	1,50	144,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,34	1064,36
23	9-E	20,00	1,50	400,00	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,71	1064,36
24	10-E	23,50	1,50	552,25	2,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,87	1064,36
25	3'-F	-23,50	9,50	552,25	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,69	1078,10
26	4-F	-20,00	9,50	400,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1060,85	1078,10
27	5-F	-12,00	9,50	144,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,22	1078,10
28	6-F	-4,00	9,50	16,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,59	1078,10
29	7-F	4,00	9,50	16,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1061,96	1078,10
30	8-F	12,00	9,50	144,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,34	1078,10
31	9-F	20,00	9,50	400,00	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,71	1078,10
32	10-F	23,50	9,50	552,25	90,25	33976,93	33976,93	412,88	2543,11	1062,87	1078,10
				8898,00	1480,00					33976,93	33976,93

## Lantai 3

Tabel 4. 24 Gaya gempa tiap joint Lantai 3 Bangunan 1

NO	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	3'-C	-23,50	-9,50	552,25	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1618,97	1589,87
2	4-C	-20,00	-9,50	400,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1619,64	1589,87
3	5-C	-12,00	-9,50	144,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1621,18	1589,87
4	6-C	-4,00	-9,50	16,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1622,71	1589,87
5	7-C	4,00	-9,50	16,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1624,25	1589,87
6	8-C	12,00	-9,50	144,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1625,79	1589,87
7	9-C	20,00	-9,50	400,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1627,32	1589,87
8	10-C	23,50	-9,50	552,25	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1628,00	1589,87
9	3'-D	-23,50	-1,50	552,25	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1618,97	1618,17
10	4-D	-20,00	-1,50	400,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1619,64	1618,17
11	5-D	-12,00	-1,50	144,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1621,18	1618,17
12	6-D	-4,00	-1,50	16,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1622,71	1618,17
13	7-D	4,00	-1,50	16,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1624,25	1618,17
14	8-D	12,00	-1,50	144,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1625,79	1618,17
15	9-D	20,00	-1,50	400,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1627,32	1618,17

16	10-D	23,50	-1,50	552,25	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1628,00	1618,17
17	3'-E	-23,50	1,50	552,25	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1618,97	1628,79
18	4-E	-20,00	1,50	400,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1619,64	1628,79
19	5-E	-12,00	1,50	144,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1621,18	1628,79
20	6-E	-4,00	1,50	16,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1622,71	1628,79
21	7-E	4,00	1,50	16,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1624,25	1628,79
22	8-E	12,00	1,50	144,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1625,79	1628,79
23	9-E	20,00	1,50	400,00	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1627,32	1628,79
24	10-E	23,50	1,50	552,25	2,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1628,00	1628,79
25	3'-F	-23,50	9,50	552,25	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1618,97	1657,09
26	4-F	-20,00	9,50	400,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1619,64	1657,09
27	5-F	-12,00	9,50	144,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1621,18	1657,09
28	6-F	-4,00	9,50	16,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1622,71	1657,09
29	7-F	4,00	9,50	16,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1624,25	1657,09
30	8-F	12,00	9,50	144,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1625,79	1657,09
31	9-F	20,00	9,50	400,00	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1627,32	1657,09
32	10-F	23,50	9,50	552,25	90,25	51951,38	51951,38	1709,43	5235,53	1628,00	1657,09
				8898,00	1480,00					51951,38	51951,38

## Lantai 4

Tabel 4. 25 Gaya gempa tiap joint Lantai 4 Bangunan 1

NO	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	3'-C	-23,50	-9,50	552,25	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1161,87	1140,99
2	4-C	-20,00	-9,50	400,00	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1162,35	1140,99
3	5-C	-12,00	-9,50	144,00	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1163,45	1140,99
4	6-C	-4,00	-9,50	16,00	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1164,56	1140,99
5	7-C	4,00	-9,50	16,00	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1165,66	1140,99
6	8-C	12,00	-9,50	144,00	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1166,76	1140,99
7	9-C	20,00	-9,50	400,00	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1167,87	1140,99
8	10-C	23,50	-9,50	552,25	90,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1168,35	1140,99
9	3'-D	-23,50	-1,50	552,25	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1161,87	1161,30
10	4-D	-20,00	-1,50	400,00	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1162,35	1161,30
11	5-D	-12,00	-1,50	144,00	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1163,45	1161,30
12	6-D	-4,00	-1,50	16,00	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1164,56	1161,30
13	7-D	4,00	-1,50	16,00	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1165,66	1161,30
14	8-D	12,00	-1,50	144,00	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1166,76	1161,30
15	9-D	20,00	-1,50	400,00	2,25	37283,48	37283,48	1226,79	3757,34	1167,87	1161,30



## Lantai Atap

Tabel 4. 26 Gaya gempa tiap joint Lantai Atap Bangunan 1

NO	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	3'-C	-23,50	-9,50	552,25	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,29	1189,06
2	4-C	-20,00	-9,50	400,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,67	1189,06
3	5-C	-12,00	-9,50	144,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1206,53	1189,06
4	6-C	-4,00	-9,50	16,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1207,38	1189,06
5	7-C	4,00	-9,50	16,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1208,24	1189,06
6	8-C	12,00	-9,50	144,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1209,10	1189,06
7	9-C	20,00	-9,50	400,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1209,96	1189,06
8	10-C	23,50	-9,50	552,25	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1210,33	1189,06
9	3'-D	-23,50	-1,50	552,25	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,29	1204,85
10	4-D	-20,00	-1,50	400,00	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,67	1204,85
11	9-D	20,00	-1,50	400,00	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1209,96	1204,85
12	10-D	23,50	-1,50	552,25	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1210,33	1204,85
13	3'-E	-23,50	1,50	552,25	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,29	1210,77
14	4-E	-20,00	1,50	400,00	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,67	1210,77



15	9-E	20,00	1,50	400,00	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1209,96	1210,77
16	10-E	23,50	1,50	552,25	2,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1210,33	1210,77
17	3'-F	-23,50	9,50	552,25	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,29	1226,57
18	4-F	-20,00	9,50	400,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1205,67	1226,57
19	5-F	-12,00	9,50	144,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1206,53	1226,57
20	6-F	-4,00	9,50	16,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1207,38	1226,57
21	7-F	4,00	9,50	16,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1208,24	1226,57
22	8-F	12,00	9,50	144,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1209,10	1226,57
23	9-F	20,00	9,50	400,00	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1209,96	1226,57
24	10-F	23,50	9,50	552,25	90,25	28987,53	28987,53	953,82	2921,29	1210,33	1226,57
										28987,53	28987,53

Bangunan 2  
Lantai 1

**Tabel 4. 27 Gaya gempa tiap joint Lantai 1 Bangunan 2**

NO	AS	JARAK									
		x0	y0	x0 <sup>2</sup>	y0 <sup>2</sup>	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	1-A	-8,17	-15,59	66,68	242,99	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	32,48	149,32
2	2-A	-0,17	-15,59	0,03	242,99	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	194,13	149,32
3	2'-A	2,83	-15,59	8,03	242,99	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	254,75	149,32
4	1-B	-8,17	-7,59	66,68	57,58	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	32,48	174,03
5	2-B	-0,17	-7,59	0,03	57,58	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	194,13	174,03
6	2'-B	2,83	-7,59	8,03	57,58	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	254,75	174,03
7	1-C	-8,17	0,41	66,68	0,17	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	32,48	198,75
8	2-C	-0,17	0,41	0,03	0,17	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	194,13	198,75
9	2'-C	2,83	0,41	8,03	0,17	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	254,75	198,75
10	3'-C	6,44	0,41	41,47	0,17	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	327,59	198,75
11	1-D	-8,17	8,41	66,68	70,76	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	32,48	223,46
12	2-D	-0,17	8,41	0,03	70,76	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	194,13	223,46
13	2'-D	2,83	8,41	8,03	70,76	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	254,75	223,46
14	3'-D	6,44	8,41	41,47	70,76	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	327,59	223,46
15	2-E	-0,17	11,41	0,03	130,23	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	194,13	232,73
16	2'-E	2,83	11,41	8,03	130,23	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	254,75	232,73
17	3'-E	6,44	11,41	41,47	130,23	3357,09	3357,09	8716,96	4869,14	327,59	232,73
				431,41	1576,12					3357,09	3357,09

## Lantai 2

Tabel 4. 28 Gaya gempa tiap joint Lantai 2 Bangunan 2

NO.	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	1-A	-8,17	-15,59	66,68	242,99	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	400,82	542,47
2	2-A	-0,17	-15,59	0,03	242,99	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	761,53	542,47
3	2'-A	2,83	-15,59	8,03	242,99	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	896,80	542,47
4	1-B	-8,17	-7,59	66,68	57,58	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	400,82	658,73
5	2-B	-0,17	-7,59	0,03	57,58	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	761,53	658,73
6	2'-B	2,83	-7,59	8,03	57,58	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	896,80	658,73
7	1-C	-8,17	0,41	66,68	0,17	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	400,82	774,98
8	2-C	-0,17	0,41	0,03	0,17	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	761,53	774,98
9	2'-C	2,83	0,41	8,03	0,17	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	896,80	774,98
10	3'-C	6,44	0,41	41,47	0,17	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	1059,35	774,98
11	1-D	-8,17	8,41	66,68	70,76	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	400,82	891,24
12	2-D	-0,17	8,41	0,03	70,76	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	761,53	891,24
13	2'-D	2,83	8,41	8,03	70,76	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	896,80	891,24
14	3'-D	6,44	8,41	41,47	70,76	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	1059,35	891,24
15	2-E	-0,17	11,41	0,03	130,23	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	761,53	934,83
16	2'-E	2,83	11,41	8,03	130,23	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	896,80	934,83
17	3'-E	6,44	11,41	41,47	130,23	13072,97	13072,97	19452,04	22903,99	1059,35	934,83
				431,41	1576,12					13072,97	13072,97

## Lantai 3

Tabel 4. 29 Gaya gempa tiap joint Lantai 3 Bangunan 2

NO	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	1-A	-8,17	-15,59	66,68	242,99	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	593,06	797,82
2	2-A	-0,17	-15,59	0,03	242,99	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1149,74	797,82
3	2'-A	2,83	-15,59	8,03	242,99	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1358,49	797,82
4	1-B	-8,17	-7,59	66,68	57,58	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	593,06	984,34
5	2-B	-0,17	-7,59	0,03	57,58	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1149,74	984,34
6	2'-B	2,83	-7,59	8,03	57,58	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1358,49	984,34
7	1-C	-8,17	0,41	66,68	0,17	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	593,06	1170,86
8	2-C	-0,17	0,41	0,03	0,17	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1149,74	1170,86
9	2'-C	2,83	0,41	8,03	0,17	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1358,49	1170,86
10	3'-C	6,44	0,41	41,47	0,17	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1609,35	1170,86
11	1-D	-8,17	8,41	66,68	70,76	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	593,06	1357,38
12	2-D	-0,17	8,41	0,03	70,76	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1149,74	1357,38
13	2'-D	2,83	8,41	8,03	70,76	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1358,49	1357,38
14	3'-D	6,44	8,41	41,47	70,76	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1609,35	1357,38
15	2-E	-0,17	11,41	0,03	130,23	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1149,74	1427,33
16	2'-E	2,83	11,41	8,03	130,23	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1358,49	1427,33
17	3'-E	6,44	11,41	41,47	130,23	19741,44	19741,44	30019,84	36747,64	1609,35	1427,33
				431,41	1576,12					19741,44	19741,44

## Lantai 4

Tabel 4. 30 Gaya gempa tiap joint Lantai 4 Bangunan 2

NO.	AS	JARAK									
		x0	y0	$x0^2$	$y0^2$	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	1-A	-8,17	-15,59	66,68	242,99	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	769,65	1048,90
2	2-A	-0,17	-15,59	0,03	242,99	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1511,78	1048,90
3	2'-A	2,83	-15,59	8,03	242,99	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1790,08	1048,90
4	1-B	-8,17	-7,59	66,68	57,58	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	769,65	1294,34
5	2-B	-0,17	-7,59	0,03	57,58	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1511,78	1294,34
6	2'-B	2,83	-7,59	8,03	57,58	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1790,08	1294,34
7	1-C	-8,17	0,41	66,68	0,17	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	769,65	1539,78
8	2-C	-0,17	0,41	0,03	0,17	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1511,78	1539,78
9	2'-C	2,83	0,41	8,03	0,17	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1790,08	1539,78
10	3'-C	6,44	0,41	41,47	0,17	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	2124,51	1539,78
11	1-D	-8,17	8,41	66,68	70,76	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	769,65	1785,22
12	2-D	-0,17	8,41	0,03	70,76	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1511,78	1785,22
13	2'-D	2,83	8,41	8,03	70,76	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1790,08	1785,22
14	3'-D	6,44	8,41	41,47	70,76	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	2124,51	1785,22
15	2-E	-0,17	11,41	0,03	130,23	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1511,78	1877,26
16	2'-E	2,83	11,41	8,03	130,23	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	1790,08	1877,26
17	3'-E	6,44	11,41	41,47	130,23	25961,47	25961,47	40020,55	48355,52	2124,51	1877,26
				431,41	1576,12					25961,47	25961,47

## Lantai Atap

**Tabel 4. 31 Gaya gempa tiap joint Lantai Atap Bangunan 2**

NO.	AS	JARAK									
		x0	y0	x0 <sup>2</sup>	y0 <sup>2</sup>	Fx	Fy	Mx	My	Fix	Fiy
1	1-A	-8,19	-16,07	67,04	258,14	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	757,11	878,99
2	2-A	-0,19	-16,07	0,04	258,14	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1077,41	878,99
3	2'-A	2,81	-16,07	7,91	258,14	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1197,52	878,99
4	1-B	-8,19	-8,07	67,04	65,07	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	757,11	981,53
5	2'-B	2,81	-8,07	7,91	65,07	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1197,52	981,53
6	1-C	-8,19	0,07	67,04	0,00	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	757,11	1085,77
7	2'-C	2,81	0,07	7,91	0,00	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1197,52	1085,77
8	3'-C	6,42	0,07	41,18	0,00	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1341,85	1085,77
9	1-D	-8,19	7,93	67,04	62,94	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	757,11	1186,60
10	2-D	-0,19	7,93	0,04	62,94	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1077,41	1186,60
11	2'-D	2,81	7,93	7,91	62,94	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1197,52	1186,60
12	3'-D	6,42	7,93	41,18	62,94	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1341,85	1186,60
13	2-E	-0,19	10,93	0,04	119,54	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1077,41	1225,05
14	2'-E	2,81	10,93	7,91	119,54	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1197,52	1225,05
15	3'-E	6,42	10,93	41,18	119,54	16273,79	16273,79	17270,13	19417,05	1341,85	1225,05
				431,35	1514,93					16273,79	16273,79

#### 4.3.5 Pembebanan Angin

Pembebanan angin dalam perencanaan ini sesuai dengan SNI 1727-2013 tentang Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Gedung fakultas Tarbiyah UINSA Surabaya memiliki tinggi sebesar 23,8 m sehingga beban angin termasuk Prosedur pengarah bagian 1 untuk bangunan gedung dari semua ketinggian.

Berikut ini adalah parameter yang digunakan dalam menghitung beban angin

1. Kecepatan Angin dasar,  $V$   
Kecepatan angin dasar diperoleh berdasarkan data BMKG dimana  $V = 40 \text{ m/s}$
2. Faktor arah angin,  $K_d$  berdasarkan Tabel 26.6-1 pasal 26.6 SNI 1727-2013 diperoleh sebesar 0,85
3. Kategori eksposur berdasarkan pasal 26.7.3 SNI 1727-2013 termasuk dalam kategori eksposur C
4. Faktor Topografi,  $K_{zt}$  berdasarkan pasal 26.8 SNI 1727-2013 diperoleh  $K_{zt} = 1$
5. Faktor efek tiupan angin berdasarkan pasal 26.9 SNI 1727-2013 sebesar 0,85
6. Klasifikasi ketertutupan, termasuk dalam kategori bangunan tertutup

Selanjutnya setelah menentukan parameter adalah menghitung beban angin dengan langkah berikut

- a) Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas,  $K_z$  atau  $K_h$  berdasarkan tabel 27.3-1 SNI 1727-2013.

$\alpha$	9,5		
$z_g$ (m)	274,32 m		
$h_l$	24,4 m	Exposure C1	1,21
$h_o$	21,3 m	Exposure Co	1,17
$h$	23,8 m	Exposure C	1,202709677
Untuk $15\text{ ft} < h < z_g$			
$K_h$	$= 2,01 \cdot (h/z_g)^{2/\alpha}$		
	$= 2,01 \cdot (23,8\text{ m}/274,32)^{2/9,5}$		
	$= 1,2$		

$\alpha$	9,5		
$z_g$ (m)	274,32 m		
$z_l$	18 m	Exposure C1	1,13
$z_o$	15,2 m	Exposure Co	1,09
$z$	17,3 m	Exposure C	1,11929
Untuk $15\text{ ft} < z < z_g$			
$K_z$	$= 2,01 \cdot (z/z_g)^{2/\alpha}$		
	$= 2,01 \cdot (17,3\text{ m}/274,32)^{2/9,5}$		
	$= 1,123$		



Dimana

$h$  = ketinggian bangunan dari atap baja hingga tanah

$z$  = ketinggian bangunan beton

$\alpha$  = konstanta eksposur daratan berdasarkan tabel 26.9-1 SNI 1727-2013

$z_g$  = konstanta eksposur daratan berdasarkan tabel 26.9-1 SNI 1727-2013

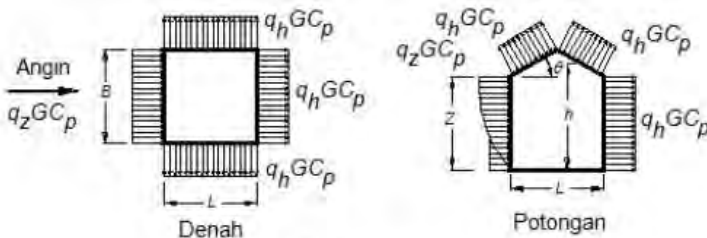
b) Menentukan tekanan velositas  $q_z$ , atau  $q_h$  berdasarkan persamaan 27.3-1 SNI 1727-2013

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \cdot 1,123 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (40 \text{ m/s})^2 \\ &= 93,59 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_h &= 0,613 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (40 \text{ m/s})^2 \\ &= 100,19 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c) Menentukan koefisien tekanan eksternal  $C_p$  berdasarkan gambar 27.4-1 dan tekanan angin  $p$  berdasarkan persamaan 27.4-1

Berikut ini adalah ketentuan pembebanan angin untuk atap perisai dan pelana



Atap pelana, atap perisai

Koefisien  $C_p$  dan tekanan angin  $p$  untuk Bangunan 1  
Dinding

permukaan	L (m)	B (m)	L/B	$C_p$	$p$ (kg/m <sup>2</sup> )
dinding sisi angin datang	19	47	0,404	0,8	6,3644905
dinding sisi angin pergi	19	47	0,404	-0,38	-4,258014
dinding tepi	19	47	0,404	-0,7	-5,961219

Atap

permukaan	L (m)	h (m)	h/L	$c_p$	$p$ (kg/m <sup>2</sup> )
sisi angin datang	19	23,99	1,26	-0,3	-2,55480814
	19	23,99	1,26	0,2	1,703205426
sisi angin pergi	19	23,99	1,26	-0,6	-5,10961628

Koefisien  $C_p$  dan tekanan angin  $p$  untuk Bangunan 2  
Dinding

permukaan	L (m)	B (m)	L/B	$C_p$	$p$ (kg/m <sup>2</sup> )
dinding sisi angin datang	11	24	0,458	0,8	6,3644905
dinding sisi angin pergi	11	24	0,458	-0,5	-4,258014
dinding tepi	11	24	0,458	-0,7	-5,961219

Atap

permukaan	L (m)	h (m)	h/L	$c_p$	$p$ (kg/m <sup>2</sup> )
sisi angin datang	11	21,525	1,96	-0,3	-2,55480814
	11	21,525	1,96	0,2	1,703205426
sisi angin pergi	11	21,525	1,96	-0,6	-5,10961628

#### 4.3.5 Periksa Dilatasi Bangunan

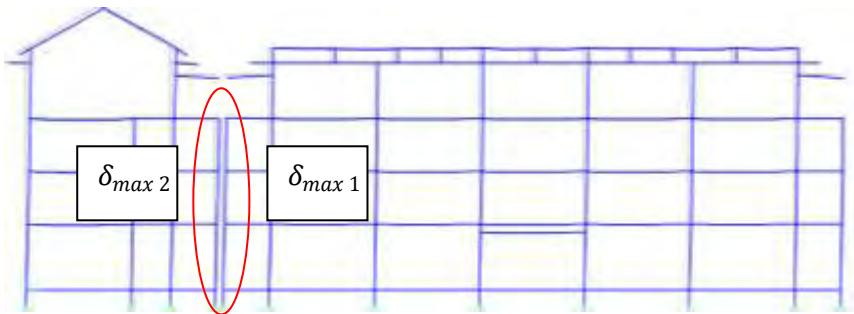
Pemisahan harus dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum ( $\delta_M$ ).  $\delta_M$  harus dihitung pada lokasi kritis dengan mempertimbangkan perpindahan translasi maupun rotasi pada struktur, termasuk pembesaran torsi (bila ada), dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$\delta_M = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e}$  dengan  $\delta_{max}$  adalah perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis.

Struktur-struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar  $\delta_{MT}$  yang dihitung dari persamaan dibawah ini:

$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2}$  dengan  $\delta_{M1}$  dan  $\delta_{M2}$  adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan.

Dari hasil SAP diperoleh  $\delta_{max 2}$  pada lokasi kritis sebagai berikut:



$\delta_{max\ 1}$  pada Bangunan 1

OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
combination	m	m	m	Rad	Rad	Rad
(1,2+0,2Sds)D +1L+ 1,3Ex+0,39 Ey	0,017	-0,018	-0,021	-0,005	-0,005	-0,03

$\delta_{max\ 2}$  pada Bangunan 2

OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
combination	m	m	m	Rad	Rad	Rad
(1,2+0,2Sds)D +1L+ 1,3Ex+0,39 Ey	0,021	-0,019	-0,017	-0,0014	0,0044	-0,0002

$$\delta_{M1} = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} = \frac{4,5 \cdot 0,021m}{1,5} = 0,063 \text{ m}$$

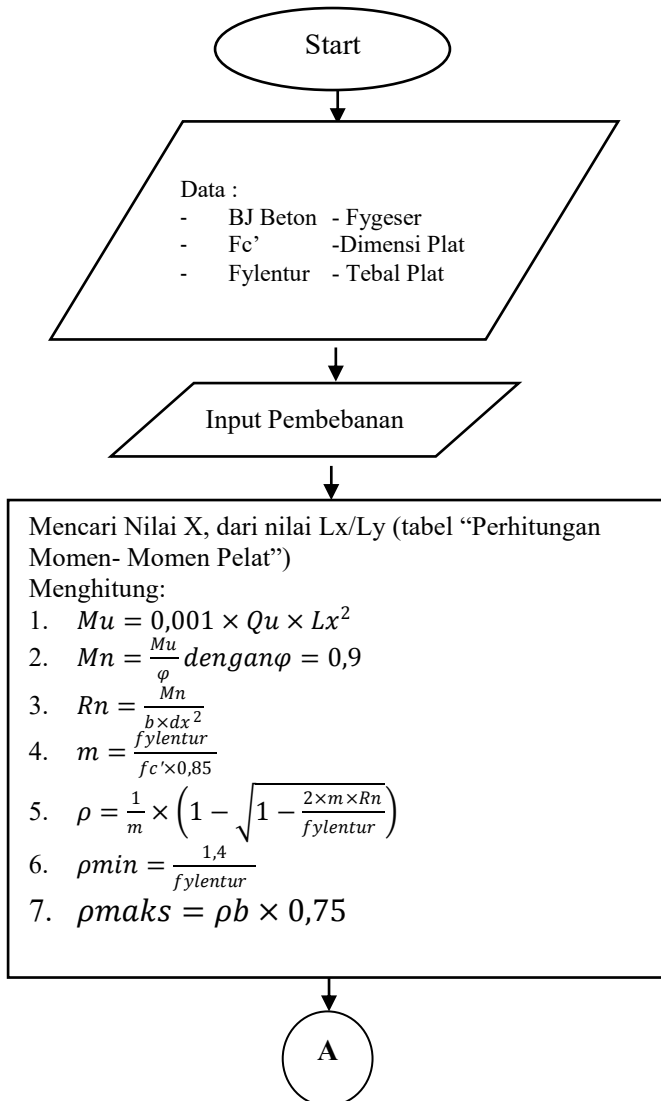
$$\delta_{M2} = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} = \frac{4,5 \cdot 0,021m}{1,5} = 0,063 \text{ m}$$

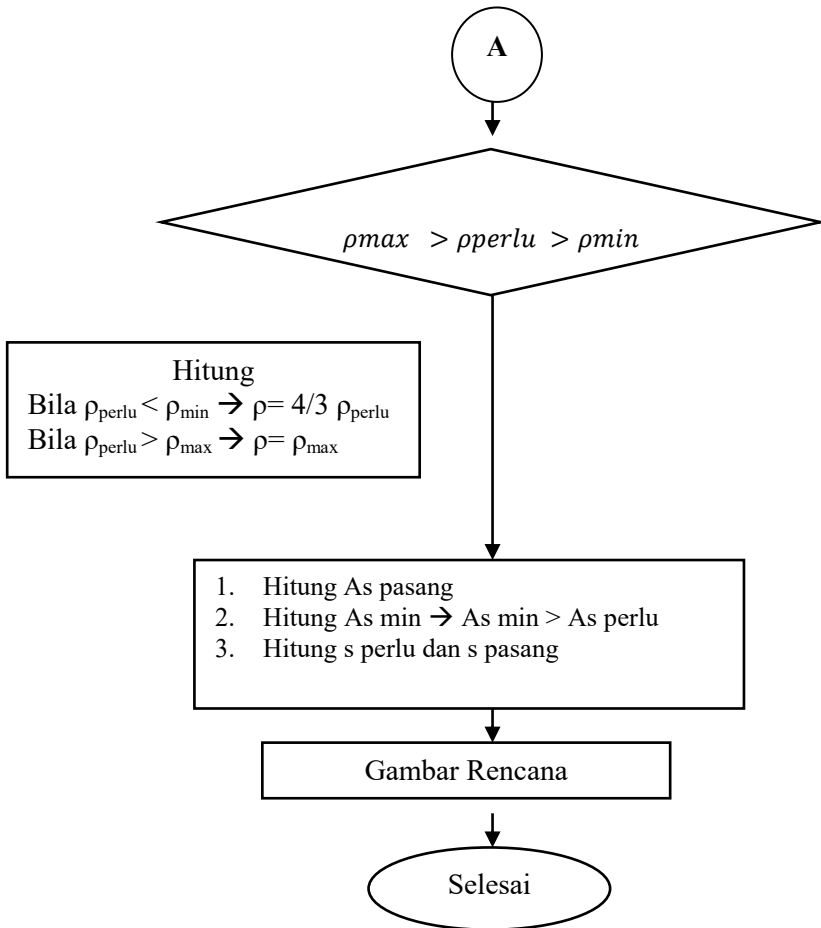
$$\begin{aligned} \delta_{MT} &= \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \\ &= \sqrt{(0,063)^2 + (0,063)^2} \\ &= 0,089 \text{ m} = 8,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada perencanaan direncanakan dengan jarak dilatasi adalah  $10\text{cm} > 8,9 \text{ cm}$ , maka jarak dilatasi memenuhi

## 4.4 Perhitungan Struktur Sekunder

### 4.4.1 Perhitungan Penulangan Pelat



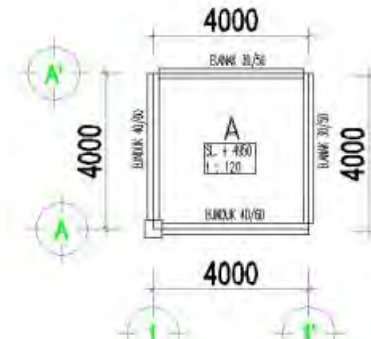


**Gambar 4. 36 Flowchart Penulangan Plat**

Pada Perhitungan pelat lantai 2 akan diambil contoh dari salah satu pelat dua arah yang berfungsi untuk ruang kelas yaitu pelat tipe A yang berada pada elevasi  $\pm 4,950$ . Adapun data-data tipe pelat dan perhitungan penulangan pelat sebagai berikut :

a. Data Perencanaan

Mutu Beton ( $f_c'$ )	= 29,05 Mpa
BJ tul.lentur ( $f_y$ )	= 400 Mpa
$\beta$	= 0,85
Tebal Pelat	= 120 mm
Tebal Selimut beton	= 20mm
Diameter Tulangan Lentur	= 10mm
Diameter Tulangan Susut	= 8mm
Bentang Pelat sb. panjang	= 4000 mm
Bentang Pelat sb. pendek	= 4000 mm



**Gambar 4. 37 Detail Pelat lantai Tipe A**

Beban pada Pelat

Beban Mati

Berat sendiri plat	= 288 kg/m
Keramik 2cm	= 16,5 kg/m <sup>2</sup>
Spesi 3 cm	= 20 kg/m <sup>2</sup>
Plafond + penggantung	= 8 kg/m <sup>2</sup>
Pemipaan air bersih & kotor	= 25 kg/m <sup>2</sup>

$$\frac{\text{Instalasi listrik}}{397,5 \text{ kg/m}^2} = 40 \text{ kg/m}^2 +$$

Beban Hidup

$$\text{Ruang Kelas} = 195,78 \text{ kg/m}^2$$

c. Perhitungan Momen-Momen pelat lantai

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 1$$

$$q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2(397,5 \text{ kg/m}^2) + 1,6(195,78 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 790,248 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{lx} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X$$

$$= 0,001 \times 790,248 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 21 \text{ m}$$

$$= 265,52 \text{ Kgm}$$

$$= 26552200 \text{ Nmm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X$$

$$= 0,001 \times 790,248 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 21 \text{ m}$$

$$= 265,52 \text{ Kgm}$$

$$= 26552200 \text{ Nmm}$$

$$M_{tx} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X$$

$$= 0,001 \times 790,248 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 52 \text{ m}$$

$$= 657,49 \text{ Kgm}$$

$$= 6574900 \text{ Nmm}$$

$$M_{ty} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X$$

$$= 0,001 \times 790,248 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 52 \text{ m}$$



$$= 657,49 \text{ Kgm}$$

$$= 6574900 \text{ Nmm}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

$$\begin{aligned} d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\phi \\ &= 120 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5\phi - \phi \\ &= 120 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 10 \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 29,5}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \end{aligned}$$

$$= 0,031$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,031 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

Penulangan Lapangan

Arah X

$$M_{lx} = 26552200 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{26552200 \text{ Nmm}}{0,9} = 3319042 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{3319042}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 0,40}{400}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,001$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,001 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,001 = 0,0013$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0013 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm}$$

$$= 127,2 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{400}$$

$$As_{min} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1  $As$  yang tersedia tidak boleh kurang dari  $As_{min}$

maka  $As_{perlu} = As_{min}$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{As_{perlu}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5}$$

$$S = 236,2 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$As_{pasang} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$As_{pasang} > As_{perlu} = 392,7 \text{ mm}^2 \geq 332,5 \text{ mm}^2$$

- Arah Y

$$Mly = 26552200 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{26552200 \text{ Nmm}}{0,9} = 3319042 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{3319042}{0.9 \times 1000 \times 85^2} = 0.51 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 0.51}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0012$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0012 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,0012 = 0,0016$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,0016 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 142,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 297,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1  $A_s$  yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times mm = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{297,5}$$

$$S = 263 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai  $\phi 10$ -200

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2$$

### Penulangan Tumpuan

- Arah X

$$M_{lx} = 6574900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{6574900 \text{ Nmm}}{0,9} = 8218579 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8218579}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 1.01}{400}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,0025$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0025 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0025 = 0,0033$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm}$$

$$= 319 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{400}$$

$$As_{min} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $As_{\min}$

maka  $As_{\text{perlu}} = As_{\min}$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \text{ xmm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{As_{\text{perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5}$$

$$S = 236,2 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$As_{\text{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$As_{\text{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$As_{\text{pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pasang}} > As_{\text{perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 \geq 332,5 \text{ mm}^2$$

- Arah Y

$$M_{ly} = 6574900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{6574900 \text{ Nmm}}{0,9} = 8218579 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8218579}{0.9 \times 1000 \times 85^2} = 1,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 1,26}{400}} \right)\end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0032$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0032 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0032 = 0,0042$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0042 \times 1000\text{mm} \times 85\text{mm}$$

$$= 358 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{\min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y}$$

$$As_{\min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{400}$$

$$As_{\min} = 332,5 \text{ mm}^2$$



Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{min}}$

$A_{s_{perlu}} > A_{s_{min}}$  Maka menggunakan  $A_{s_{perlu}}$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{358}$$

$$S = 219 \text{ mm} \quad S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai  $\phi 10-150$

$$A_{s_{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$A_{s_{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s_{pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 > 358 \text{ mm}^2$$

#### Penulangan Susut

- Arah X dan Y

Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak boleh kurang dari  $\rho_{perlu} = 0,0014$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{susut}} &= \rho_{susut} \times b \times t_{pelat} \\
 &= 0,0014 \times 1000\text{mm} \times 120\text{mm} \\
 &= 168 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Batas spasi tulangan susut

$$S \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

Dipakai Tulangan Ø8

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{168}$$

$$S = 299,2\text{mm} \quad S \text{ pakai} = 200\text{mm}$$

Cek Batas Spasi Tulangan

$$S_{\max} = 5 \times 120\text{mm} = 600\text{mm}$$

$$200 \leq 600 \text{ mm (Memenuhi)}$$

$$200 \leq 450 \text{ mm (Memenuhi)}$$

Cek luasan Tulangan Ø8-200

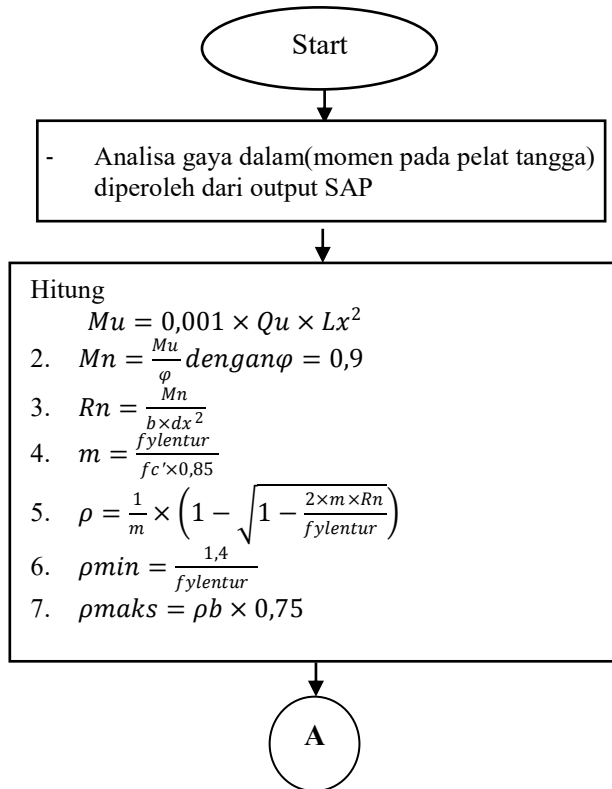
$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &< A_{s \text{ ada}} \\
 168 \text{ mm}^2 &< 251,32\text{mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

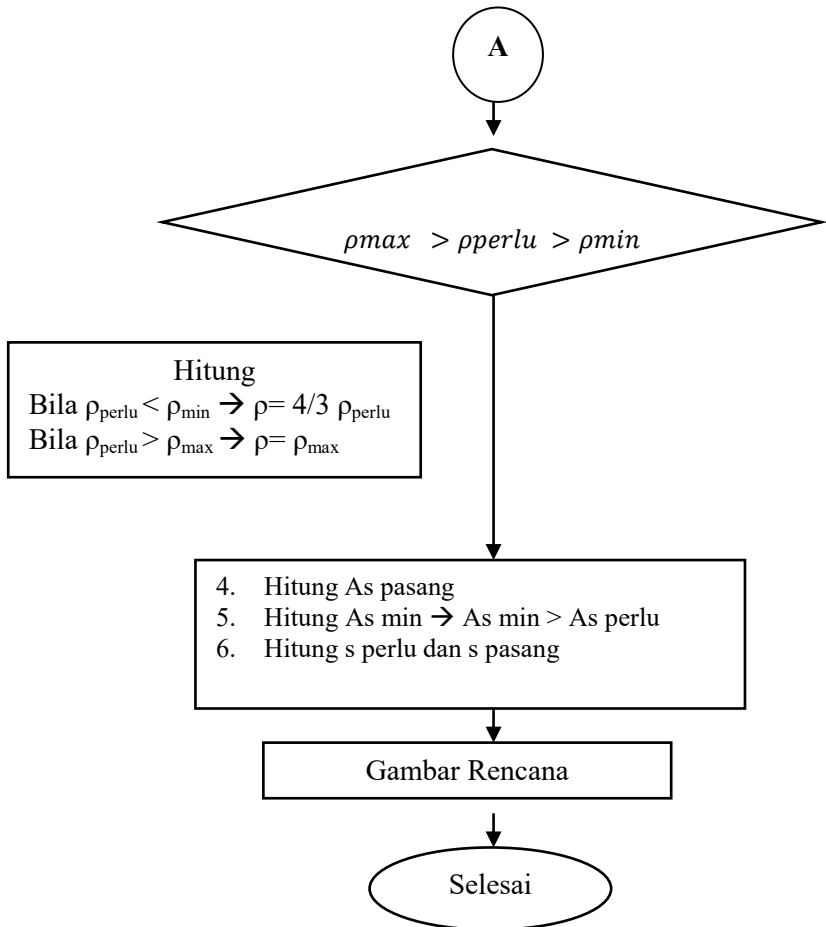
Lebar Lajur pemasangan tulangan susut :

$$\text{Ke arah bentang panjang} = 0,22 \times l_n = 81,95\text{cm} \approx 90\text{cm}$$

$$\text{Ke arah bentang pendek} = 0,22 \times l_n = 81,95\text{cm} \approx 90\text{cm}$$

#### 4.4.2 Perhitungan Penulangan Tangga





**Gambar 4. 38 Flowchart Penulangan Tangga**

Pada perhitungan penulangan tangga akan diambil contoh dari tangga yang digunakan adalah tangga penghubung lantai 1 dan lantai 2 .Adapun data-data tipe pelat tangga dan perhitungan penulangan pelat tangga sebagai berikut :

a. Data Perencanaan

Mutu Beton ( $f_c'$ )	= 29,05 Mpa
BJ tul.lentur ( $f_y$ )	= 400 Mpa
$\beta$	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut beton	= 20 mm
Diameter Tulangan Lentur arah Y	= 13 mm
Diameter Tulangan Lentur arah X	= 10 mm

Tebal Manfaat Pelat

$$\begin{aligned} d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\varnothing - \varnothing \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 13 \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5\varnothing \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 29,5}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0315 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 29,05} = 16.20$$

b. Tulangan Arah Y (arah memanjang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil progam analisis struktur

$$M_{22} = 20081800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{20081800 \text{ Nmm}}{0,9} = 22313111,11 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{22313111,11}{1000 \times 123,5^2} = 2,44$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 2,44}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{Perlu} = 0,0038$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0038 < 0,024 \quad (\text{memenuhi})$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0038 \times 1000 \text{ mm} \times 123,5 \text{ mm}$$

$$= 465,92 \text{ mm}^2$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 13 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{465,82}$$

$$S = 230,5 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø13-150

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 884,43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 884,43 \text{ mm}^2 > 465,92 \text{ mm}^2$$

c. Tulangan Arah X (arah melintang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{11} = 10608300 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{10608300 \text{ Nmm}}{0,9} = 11787000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{12601000}{1000 \times 112^2} = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 1,00}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0024$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0024 < 0,024 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0024 = 0,0031$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0031 \times 1000\text{m} \times 112\text{m}$$

$$= 348,8 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 112}{400}$$

$$As_{min} = 392\text{mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1  $As$  yang tersedia tidak boleh kurang dari  $As_{min}$

$$\text{maka } As_{perlu} = As_{min}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 150\text{mm} = 300 \text{ mm}$$



Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{392}$$

$$S = 200,26 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-150

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 523,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 523,33 \text{ mm}^2 > 392 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

#### 4.4.3 Perhitungan penulangan Pelat Bordes

Pada perhitungan penulangan bordes akan diambil contoh dari bordes yang menghubungkan tangga lantai 1. Adapun data-data tipe pelat bordes dan perhitungan penulangan pelat bordes sebagai berikut :

##### a. Data Perencanaan

Mutu Beton ( $f_c'$ )	= 29,05 Mpa
BJ tul.lentur ( $f_y$ )	= 400 Mpa
$\beta$	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut beton	= 20 mm
Diameter Tulangan Lentur Arah Y	= 13 mm
Diameter Tulangan Lentur Arah X	= 10 mm

Tebal Manfaat Pelat

$$\begin{aligned} d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\phi - \phi \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 13 \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5\phi \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 29,5}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0315 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

b. Tulangan Arah X (arah memanjang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{11} = 17215900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{17215900 \text{ Nmm}}{0,9} = 19128777,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{19128777,8}{1000 \times 112^2} = 1,52$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.16.20.1,52}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\
 &= 0,0039
 \end{aligned}$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0039 < 0,024 \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{perlu}} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\
 &= 0,0039 \times 1000 \text{ mm} \times 112 \text{ mm} \\
 &= 441,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$\begin{aligned}
 A_{s_{min}} &= \frac{1,4 \times b \times w \times d}{f_y} \\
 A_{s_{min}} &= \frac{1,4 \times 1000 \times 112}{400} \\
 A_{s_{min}} &= 392 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{min}}$

maka  $A_{s_{perlu}} > A_{s_{min}}$  (memenuhi)

Batas spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= 2h \\
 S_{max} &= 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{441,05}$$

$$S = 177,98 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-150

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 523,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 523,33 \text{ mm}^2 > 441,05 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

c. Tulangan Arah Y (arah melintang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{11} = 34336800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{34336800 \text{ Nmm}}{0,9} = 38152000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d \cdot y^2} = \frac{38152000 \text{ Nmm}}{1000 \cdot (123,5)^2} = 2,48$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 2,48}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0066$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0066 < 0,024 \quad (\text{oke})$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0065 \times 1000 \text{ mm} \times 123,5 \text{ mm} \\ &= 812,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 13 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{812,29}$$

$$S = 163,32 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø13-150

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150}$$

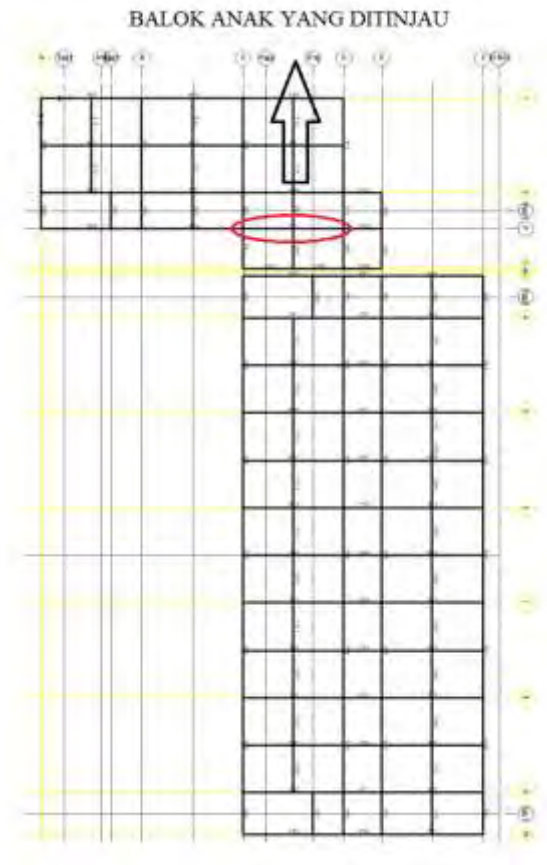
$$A_{s_{\text{pasang}}} = 884,43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 884,43 \text{ mm}^2 > 812,29 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

#### 4.4.4 Perhitungan Penulangan Balok Anak

Perhitungan tulangan balok anak : BA (30/50) As 2' (C-D) elevasi  $\pm 5.00$ . Berikut data-data perencanaan balok anak, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisa stuktur, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok anak adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 39 Denah Pembalokan

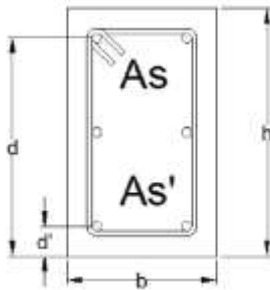
- a. Data-data perencanaan tulangan balok :
- Tipe balok : BA (30/50)
  - As balok : As 2' (C-D)
  - Bentang balok (L balok) : 8000 mm
  - Dimensi balok (b balok) : 300 mm
  - Dimensi balok (h balok) : 500 mm
  - Bentang kolom (L kolom) : 5000 mm
  - Dimensi kolom (b kolom) : 500 mm
  - Dimensi kolom (h kolom) : 500 mm
  - Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 29,05 MPa
  - Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 MPa
  - Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 240 MPa
  - Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ ) : 240 MPa
  - Diameter tulangan lentur (D lentur) : 22 mm
  - Diameter tulangan geser ( $\emptyset$  geser) : 10 mm
  - Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$  puntir) : 10 mm
  - Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
  - Jarak spasi tulangan antar lapis : 25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
  - Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.(c))
  - Faktor  $\beta_1$  : 0,85  
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3))
  - Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))
  - Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))
  - Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif balok :

- Untuk tulangan 1 lapis :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi_{\text{tul lentur}} \\ &= 500 - 40 - 10 - (1/2 \cdot 22) \\ &= 439 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + 1/2 \phi_{\text{tul lentur}} \\ &= 40 + 10 + (1/2 \cdot 22) \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 40 Tinggi Efektif Balok**



- b. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program analisis struktur :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu analisis struktur, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisis struktur yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

Kombinasi Beban Non Gempa :

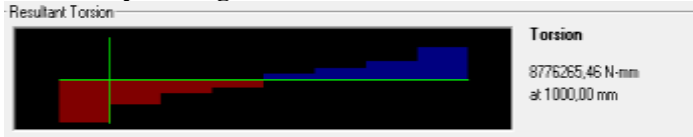
- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.  
 $= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.  
 $= (1,2 + 0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,3 \text{ EQX} + 0,39 \text{ EQY}$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y.  
 $= (1,2 + 0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,39 \text{ EQX} + 1,3 \text{ EQY}$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.  
 $= (1,2 + 0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,3 \text{ EQX} - 0,39 \text{ EQY}$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y.  
 $= (1,2 + 0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 0,39 \text{ EQX} - 1,3 \text{ EQY}$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan beban gempa.

### Hasil Output Diagram Torsi

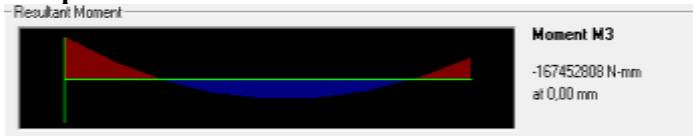


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+1,3 EQX+0,39 EQY

Momen torsi = 8776265,5 Nmm

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

**Tumpuan kiri :**

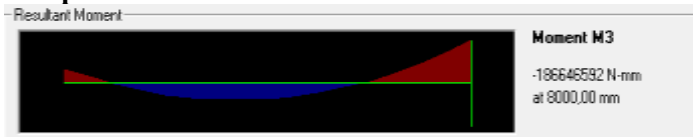


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Momen tumpuan kiri = 167452808 Nmm

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

**Tumpuan kanan :**

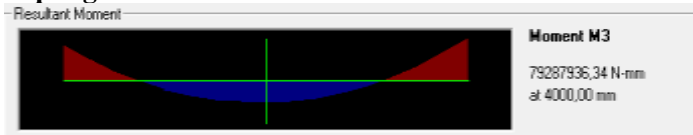


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

Momen tumpuan kanan = 186646592 Nmm

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

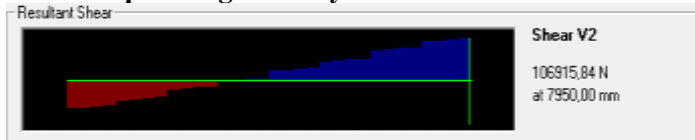
**Lapangan :**



Kombinasi 1,2DL+1,0LL

Momen lapangan = 79287938 Nmm

### Hasil Output Diagram Gaya Geser



Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+1,3 EQX+0,39 EQY

Gaya geser = 106915,84 N

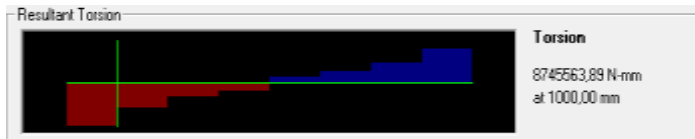
Berdasar SNI 03-2847-2012 ps 21.3.4.2 Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom.

c. Syarat Gaya aksial pada balok

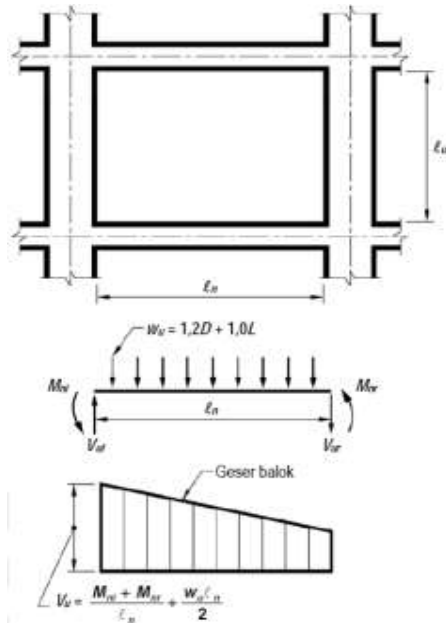
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \times 500 \times 29,05}{10} = 435750 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur, gaya aksial tekan akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY pada komponen struktur sebesar 8745563,89 N < 435750 N.

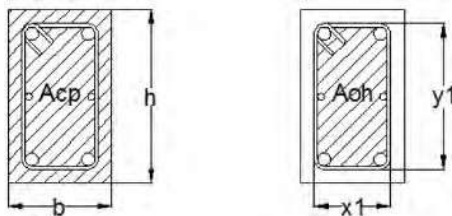


*Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).*



**Gambar 4. 41 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM**

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



**Gambar 4. 42 Luasan Acp dan Pcp**

*Luasan yang diatasi oleh keliling luar irisan penampang beton*

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 300 \times 500 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Parameter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$*

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \\ &= (300 - 2.40) - 2.20 \times (500 - (2.40) - 2.10) \\ &= 80000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}})) \\ &= 2 \times ((300 - 2.40) - 2.10) + (500 - (2.40) - 2.10)) \\ &= 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### **4.4.4.1 Perhitungan Penulangan Puntir**

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi

$$(1,2 + 0,2 Sds)DL + 1,0LL + 1,3EQX + 0,39EQY$$

$$T_u = 8776265,5 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{8776265,5}{0,75} \\ &= 11701687 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{150000^2}{1600} \\ &= 4718184,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{150000^2}{1600} \\ &= 18759049 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$4718184,9 \text{ Nmm} < 8776265,5 \text{ Nmm}$

(memerlukan tulangan puntir)

#### Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang harus memenuhi ketentuan

11.5.3.1 Sebagai berikut :

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{B_w \cdot d} \right)^2 + \left( \frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_o h^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right)$$

Dengan  $V_c$  dihitung dari persamaan berikut :

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$V_c = 120672,348 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{106915,84}{300 \cdot 439}\right)^2 + \left(\frac{8776265 \times 1200}{1,7 \times 80000^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{120672,34}{300 \cdot 439} + 0,66\sqrt{29,05} \right)$$

$$1,2755 \leq 3,355 \text{ (memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

### **Tulangan Puntir Untuk Lentur**

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang  $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 80000 \\ &= 68000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi}$$

$$= \frac{11701687}{2 \times 68000 \times 240 \times \cot 45}$$

$$= 0,58 \text{ mm}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

$$A_L = 0,35 \times 1200 \times \left( \frac{240}{400} \right) \cot^2 45$$

$$= 159 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{L \min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{300}{240} = 0,218$$

$$A_{L \min} = \frac{0,42 \sqrt{29,05} \times 150000}{400} - (0,58) \times 1200 \times \frac{240}{400}$$

$$A_{L \min} = 430,79 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_L \text{ perlu} \leq A_{L \min}$  maka gunakan  $A_{L \min}$

$A_L \text{ perlu} \geq A_{L \min}$  maka gunakan  $A_L \text{ perlu}$

$159 \text{ mm}^2 \leq 430,79 \text{ mm}^2$  (maka gunakan  $A_{L \min}$ )

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar  $430,79 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok



$$\frac{Al}{4} = \frac{430,79}{4} = 107,7 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi samping (kanan dan kiri) balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $215,4 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi samping)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{215,4 \text{ mm}^2}{78,57 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,74 \approx 4 \quad \text{Dipasang tulangan puntir } 4 \text{ } \emptyset 10$$

Kontrol luasan tulangan pasang puntir

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan } D \text{ puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi 10^2 \\ &= 314,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &\geq As \text{ perlu} \\ 314,29 \text{ mm}^2 &\geq 215,4 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

*Sehingga dipasang tulangan puntir sisi samping (kanan dan kiri) di tumpuan dan lapangan sebesar  $4 \text{ } \emptyset 10$ .*

#### 4.4.4.2 Perhitungan Penulangan Lentur DAERAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 439 \\ &= 263,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 263,4 \\ &= 197,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 600 - 439 \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 73 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 x 29,05 x 300 x 0,85 x 73 \\ &= 459650,88 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{459650,88}{400} \\ &= 1149,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1149,13 \times 400 \times \left( 439 - \frac{0,85 \times 73}{2} \right) \\
 &= 187526070,83 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu \text{ tumpuan} = 186646592 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$M_n = \frac{186646592}{0,9}$$

$$M_n = 207385102,2 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 207385102,2 - 187526070,83 \\
 &= 19859031,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$

$$M_{ns} = 19859031,4 \text{ Nmm} \geq 0$$

(perlu tulangan lentur tekan)

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tekan*

## ✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

$$C_{s'} = T^2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d'} = \frac{19859031,4}{439 - 61} = 52537,12 \text{ N}$$

Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_{s'} = \left( 1 - \frac{d'}{X} \right) \times 600 = \left( 1 - \frac{61}{73} \right) \times 600 = 98,63 \text{ Mpa}$$

$$f_{s'} \geq f_y \quad \text{Maka Leleh} \quad f_{s'} = f_y$$

$$f_{s'} < f_y \quad \text{Maka Tidak Leleh} \quad f_{s'} = f_{s'}$$

Karena :

$$\begin{aligned} f_s' &< f_y \\ 98,63 &< 400 \quad \text{Maka Tidak Leleh} \quad f_s' = 98,63 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85 f_c'} = \frac{52537,12}{98,63 - (0,85 \times 29,05)} \\ &= 710,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{52537,12}{400} = 131,34 \text{ mm}^2$$

Tulangan perlu :

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} = 1149,13 + 131,34 = 1280,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = A_s' = 710,56 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_{sperlu} &= 1280,5 + \frac{430,79}{4} \\ A_{sperlu} &= 1388,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{sperlu}}{Luasan D_{lentur}} \\ n &= \frac{1388,17 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$n = 3,65 \approx 4 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 4 D22}$$

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1521,14 \text{ mm}^2 &> 1388,17 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\text{As}' = 710,56 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ n &= \frac{710,56 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}\end{aligned}$$

$$n = 1,9 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &> 710,56 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tarik} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 37,3 \text{ mm}$$

$S_{tarik} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$37,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 159 \text{ mm}$$

$S_{tekan} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$159 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua

ujung kompone tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times$   
 $M$  lentur tumpuan (-)

***[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]***

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1521,14 \text{ mm}^2 \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 507,05 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

#### Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}a &= \left( \frac{As \times Fy - As' \times fs'}{0,85 \times f'c' \times b} \right) \\ a &= \left( \frac{(1521,14 \times 400) - 760,57 \times 98,63}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right) \\ a &= 72,01 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1521,14 \times 400 \times \left( 439 - \frac{72,01}{2} \right) \\ &= 245204783,76 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Cek :  $Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$$\begin{aligned}245204783,76 \text{ Nmm} &> 207385102,22 \text{ Nmm} \\ (\text{Memenuhi})\end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/50) As 2' (C-D) pada daerah tumpuan kanan dipakai

tulangan tarik 4 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 4 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D22

### **DAREAH TUMPUAN KIRI**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY  
Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 439 \\ &= 263 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 263 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 500 x 439 \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 73 \text{ mm}$$

#### Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 x 29,05 x 300 x 0,85 x 73 \\ &= 459650,88 \text{ N} \end{aligned}$$



### Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{459650,88}{400} \\
 &= 1149,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1149,13 \times 400 \times \left( 439 - \frac{0,85 \times 73}{2} \right) \\
 &= 187526070,83 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu \text{ tumpuan} = 167452808 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{167452808}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 186058675,56 \text{ Nmm}$$

### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 186058675,56 - 187526070,83 \\
 &= -1467395,27 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $Mns \leq 0$

$$Mns = -1467395,27 \text{ Nmm} \leq 0$$

( Tidak perlu tulangan lentur tekan)

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal*

## ✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29,05 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \end{aligned}$$

$$= 0,0315$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{167452808}{0,9} = 186058675,56 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{186058675,56}{300 \times 439^2} = 3,218 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{16,20} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 3,218}{400}} \right] \\ &= 0,0087 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\ 0,0035 &< 0,0087 < 0,0236 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0087 \times 300 \times 439 \\ &= 1139,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_{sperlu} &= 1139,4 + \frac{430,79}{4} \\ A_{sperlu} &= 1247,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{1247,1 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$n = 3,279 \approx 4$  Dipasang tulangan lentur 4 D22

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1521,14 \text{ mm}^2 &> 1247,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 1521,14 \text{ mm}^2 \\ &= 456,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{456,34}{380,286}$$

$n = 1,2 \approx 2$  buah Dipasang tulangan lentur 2 D22

Kontrol Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &> 456,34 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tarik} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 37,3 \text{ mm}$$

$S_{tarik} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$37,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$S_{tekan} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis*

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur

negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1521,14 \text{ mm}^2 \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 507,05 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

#### Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned} a &= \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right) \\ a &= \left( \frac{(1521,14 \times 400)}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right) \\ a &= 82,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1521,14 \times 400 \times \left( 439 - \frac{82,14}{2} \right) \\ &= 242123985,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } Mn \text{ pasang} &> Mn \text{ perlu} \\ 242123985,05 \text{ Nmm} &> 186058675,56 \text{ Nmm} \\ &(\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/50) As 2' (C-D) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 4 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 4 D22
- Tulangan tekan 1 Lapis : 2 D22

### **DAERAH LAPANGAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 439 \\ &= 263 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 263 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 500 - 439 \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 73 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 x 29,05 x 300 x 0,85 x 73 \\ &= 459650,88 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{459650,88}{400} \\
 &= 1149,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1490,19 \times 400 \times \left( 439 - \frac{0,85 \times 73}{2} \right) \\
 &= 187526070,83 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu lapangan} = 79287936,34 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{79287936,34}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 88097707,04 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 88097707,04 - 187526070,83 \\
 &= -99428363,78 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $Mns \leq 0$

$$Mns = -99428363,78 \text{ Nmm} \leq 0$$

( tidak perlu tulangan lentur tekan)

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal*

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f'c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29,05 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{79287936,34}{0,9} = 88097707,04 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{88097707,04}{300 \times 439^2} = 1,523 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{16,20} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 1,523}{400}} \right] \\ &= 0,0039 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0039 < 0,0236$  (Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0039 \times 300 \times 439 \\ &= 518,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ A_{sperlu} &= 518,21 + \frac{430,79}{4} \\ A_{sperlu} &= 625,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)



$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{625,91 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,6 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 1 lapis :

#### Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &> 625,91 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 760,57 \text{ mm}^2 \\ &= 228,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{228,17 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 0,6 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

#### Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$760,57 \text{ mm}^2 > 228,17 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tarik} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$S_{tarik} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$S_{tekan} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S \geq 25\text{mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis*

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M_{\text{lentur Lapangan}} (+) \geq 1/5 \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$ .

***[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]***

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur Lapangan}} (+) \geq 1/5 M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 1/5 \times 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 304,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

**Kontrol Kemampuan Penampang**

$$a = \left( \frac{As \cdot F_y}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{760,57 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 760,57 \times 400 \times \left(439 - \frac{41,07}{2}\right) \\
 &= 127309167,69 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :  $Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$127309167,69 \text{ Nmm} > 88097707,04 \text{ Nmm}$   
(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/50) As 2' (C-D) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 2 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D22

#### 4.4.4.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : BA (30/50)

Dimensi balok (b balok) : 300 mm

Dimensi balok (h balok) : 500 mm

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 29,05 MPa

Kuat leleh tul. geser ( $f_{yv}$ ) : 240 MPa

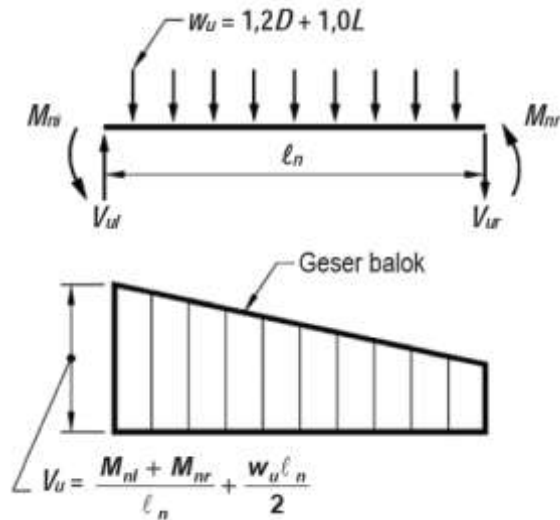
Diameter tul. geser ( $\emptyset$  geser) : 10 mm

$\beta_1$  : 0,85

Faktor reduksi geser ( $\phi$ ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BA (30/50) As 2' (C-D), diperoleh :

### Momen Tulangan Terpasang



**Gambar 4. 43 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMM**

### Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 4 D22 = 1521,14 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 2 D22 = 760,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1521,14 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 82,14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_l \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1521,14 \times 400 \times \left( 439 - \frac{82,14}{2} \right) \\ &= 242123985,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

### Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 4 D22 = 1521,14 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 2 D22 = 760,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{As' \cdot Fy}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{760,57 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_r \text{ pasang} &= As' \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 760,57 \times 400 \times \left( 439 - \frac{41,07}{2} \right) \\ &= 127309167,69 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39EQX +1,3 EQY didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 106915,84 N

### Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), ¼ bentang balok dari as kolom ke arah tengah bentang
- Wilayah 2 (daerah lapangan) , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)**

### Syarat kuat tekan beton (fc')

nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30} < 8,3 \text{ Mpa}$$

5,478 Mpa < 8,3 Mpa (memenuhi)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.2)

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$V_c = 120672,35 \text{ N}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s \min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 300 \times 439$$

$$= 43461 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$= 234246,32 \text{ N}$$

$$2V_{s \max} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$= 468492,65 \text{ N}$$

Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4)

Dimana :

- $V_{u1}$  = Gaya geser pada muka perletaka
- $M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)
- $M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

- $\ell_n$  = Panjang bersih balok

Maka :

$$Vu_1 = \frac{242123985,05 + 127309167,69}{7500} + 106915,84$$

$$Vu_1 = 156173,59 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

$$156173,59 \text{ N} \leq 45252,13 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

$$45252,13 \text{ N} \leq 156173,59 \text{ N} \leq 90504,26 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ min})$$

$$90504,26 \text{ N} \leq 156173,59 \text{ N} \leq 123100,01 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (Vc + Vs \text{ min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ max})$$

$$123100,01 \text{ N} \leq 156173,59 \text{ N} \leq 266189,0 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (Vc + Vs \text{ max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2Vs \text{ max})$$

$$266189,0 \text{ N} \leq 156173,59 \text{ N} \leq 441873,75 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu - \emptyset Vc}{\emptyset}$$



$$Vs \text{ perlu} = \frac{156173,59 - 0,75 \times 120672,35}{0,75}$$

$$Vs \text{ perlu} = 87559,11 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$Av = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$Av = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$Av = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{\text{perlu}} = \frac{Av \times F_{yv} \times d}{Vs \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157,14 \times 240 \times 529}{87559,11}$$

$$S_{\text{perlu}} = 189,09 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 125 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$125 \text{ mm} < \frac{439}{2} = 219,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø 10-125

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a)  $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)**

- $S_{pakai} < \frac{d}{4}$   
 $125\text{mm} < \frac{529}{4}$   
 $125\text{mm} < 132 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$
- $S_{pakai} < 8 \times D \text{ lentur}$   
 $125\text{mm} < 8 \times 22$   
 $125\text{mm} < 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$
- $S_{pakai} < 24 \times D \text{ sengkang}$   
 $125\text{mm} < 8 \times 10$   
 $125\text{mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$   
 $125\text{mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$

***Jadi penulangan geser balok anak BA (30/50) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø 10-125 dengan sengkang 2 kaki***

**2. Pada Wilayah Lapangan**

Gaya geser diperoleh dari metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{156173,59 \times (\frac{1}{2} \times 7500 - 2 \times 500)}{\frac{1}{2} \times 7500}$$

$$Vu_2 = 114527,3 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

$$114527,3 \text{ N} \leq 45252,13 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

$$45252,13 \text{ N} \leq 114527,3 \text{ N} \leq 90504,26 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ min})$$

$$90504,26 \text{ N} \leq 114527,3 \text{ N} \leq 123100,01 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (Vc + Vs \text{ min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ max})$$

$$123100,01 \text{ N} \leq 114527,3 \text{ N} \leq 266189,0 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (Vc + Vs \text{ max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2Vs \text{ max})$$

$$266189,0 \text{ N} \leq 114527,3 \text{ N} \leq 441873,75 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3**.

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min}$$

$$Vs \text{ perlu} = 43461 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157,14 \times 240 \times 439}{43461 \text{ N}}$$

$$S_{perlu} = 380,94 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 200 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$200 \text{ mm} < \frac{439}{2} = 219,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø 10-200

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok.

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(3)**

a)	$S_{pakai}$	$<$	$\frac{d}{2}$
	200mm	$<$	$\frac{439}{2}$
	200mm	$<$	219,5 mm (memenuhi)

***Jadi penulangan geser balok anak B2 (30/50) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø 10-200 dengan sengkang 2 kaki***

#### **4.4.4.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.***

##### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3.*** dan faktor modifikasi dari ***pasal 12.2.4.*** dan ***pasal 12.2.5.***

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

***[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]***

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$ld = \left[ \frac{fy}{1,1\lambda \times \sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{D_b}} \right] d_b$$

Dimana,

$fc'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$fy$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan (1,3)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,5)

$\Psi_s$  = faktor ukuran tulangan (1,0)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan (1,0)

$d_b$  = diameter nominal tulangan (22)

$C_b$  = Yang lebih kecil :

- a) Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$$C_b = \text{decking} + \text{senggang} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm})$$

$$C_b = 61 \text{ mm}$$

- b) Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$$C_b = S_{\max} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur}) + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 25 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm})$$

$$C_b = 47 \text{ mm}$$

$K_{tr}$  = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[ \frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{29,05'}} \cdot \frac{1,3 \times 1,5 \times 1,0}{\frac{47+0}{22}} \right] \times 22$$

$$ld = 1354,8 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$1354,8 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam  $ld$  diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]**

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{1388,17}{1521,14} \right] \times 1354,5 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 1236,1 \text{ mm}$$

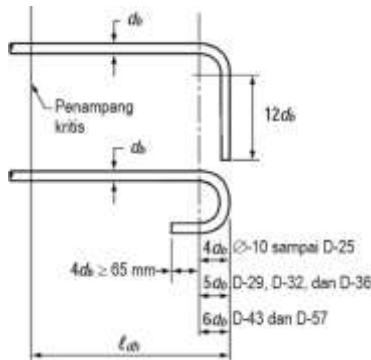
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik  
1300 mm

### Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart  $ldh$  ditentukan dari **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.5.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari  $8d_b$  dan 150 mm

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]**

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart



**Gambar 4. 44 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart**

- Perhitungan Penyaluran Kait:

$$\text{Untuk batang tulangan ulir } ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

Dimana,

$f_c'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$f_y$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,2)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan (1,0)

$d_b$  = diameter nominal tulangan (22)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1,2 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \times 22$$

$$ldh = 470 \text{ mm}$$

- Perhitungan Reduksi Penyaluran Kait:  
Reduksi dalam  $ldh$  harus diizinkan untuk dikalikan faktor faktor sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3.***

Untuk kait 90 derajat dikalikan 0,8

***[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3 (b)]***

$$ldh_{reduksi} = ldh \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 470 \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 376 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$8 d_b = 176 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

*Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 400 mm*

Panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

#### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan  $ldc$  dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.*** dan faktor modifikasi dari ***pasal 12.3.3.*** Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

***[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]***

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Untuk batang tulangan ulir  $ldc$  harus diambil sebesar yang terbesar dari :



$$\begin{aligned} \text{a. } ldc &= \left( \frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \right) d_b \\ ldc &= \left( \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \right) \times 22 \end{aligned}$$

$$ldc = 392 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } ldc &= (0,043 fy) d_b \\ ldc &= (0,043 \times 400) \times 22 \\ ldc &= 378 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka ldc dipilih 392 mm

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Reduksi dalam  $ldc$  diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]**

$$\text{Reduksi } ldc = \left[ \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ldc = \left[ \frac{710,56}{760,57} \right] \times 392 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ldc = 366,2 \text{ mm}$$

*Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 400 mm*

Panjang kait

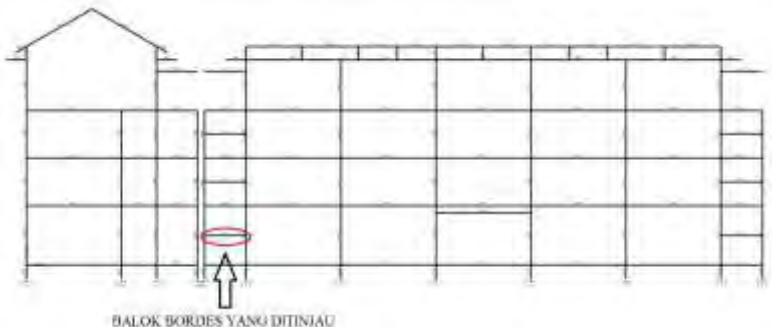
$$4 d_b + 4 d_b = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm}$$

TIPE BALOK	BALOK ANAK (B2) 300x500		
BAGIAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
			
TULANGAN ATAS	4 D 22	2 D 22	4 D 22
TULANGAN BAWAH	2 D 22	2 D 22	2 D 22
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 100
TULANGAN PUNTIR	4 Ø 10		

**Gambar 4. 45 Detail Penulangan Balok Anak (B2)**

#### 4.4.5 Perhitungan Penulangan Balok Bordes

Perhitungan tulangan balok sloof : BB (30/50) As C (3'-4) elevasi  $\pm 2.50$ . Berikut data-data perencanaan sloof, gambar portal As C, hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisa stuktur, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok bordes adalah sebagai berikut :



**Gambar 4. 46 Tampak Portal As C**

- a. Data-data perencanaan tulangan balok :
- Tipe balok : BB (30/50)
  - As balok : As C (3'-4)
  - Bentang balok (L balok) : 3500 mm
  - Dimensi balok (b balok) : 300 mm
  - Dimensi balok (h balok) : 500 mm
  - Bentang kolom (L kolom) : 5000 mm
  - Dimensi kolom (b kolom) : 500 mm
  - Dimensi kolom (h kolom) : 500 mm
  - Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 29,05 MPa
  - Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 MPa
  - Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 240 MPa
  - Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ ) : 240 MPa
  - Diameter tulangan lentur (D lentur) : 22 mm

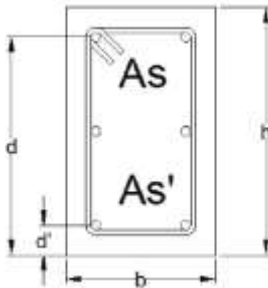
- Diameter tulangan geser ( $\emptyset$  geser) : 10 mm
- Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$  puntir) : 10 mm
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
- Jarak spasi tulangan antar lapis : 25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
- Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.(c))
- Faktor  $\beta_1$  : 0,85  
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3))
- Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))
- Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))
- Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif balok :

- Untuk tulangan 1 lapis :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi_{\text{tul lentur}} \\ &= 500 - 40 - 10 - (1/2 \cdot 22) \\ &= 439 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + 1/2 \phi_{\text{tul lentur}} \\ &= 40 + 10 + (1/2 \cdot 22) \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 47 Tinggi Efektif balok Bordes**

- d. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program analisis struktur :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu analisis struktur, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisis struktur yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

Kombinasi Beban Non Gempa :

- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.  

$$= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.  

$$=(1,2+0,2 \text{ Sds})\text{DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,3 \text{ EQX} + 0,39 \text{ EQY}$$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y.  

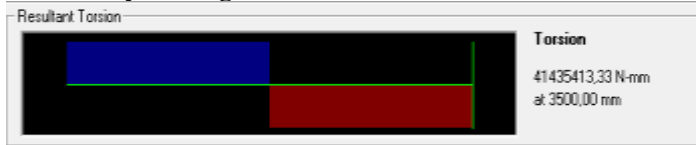
$$=(1,2+0,2 \text{ Sds})\text{DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,39 \text{ EQX} + 1,3 \text{ EQY}$$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.  

$$=(1,2+0,2 \text{ Sds})\text{DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,3 \text{ EQX} - 0,39 \text{ EQY}$$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y.  

$$=(1,2+0,2 \text{ Sds})\text{DL} + 1,0 \text{ LL} - 0,39 \text{ EQX} - 1,3 \text{ EQY}$$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan beban gempa.

### Hasil Output Diagram Torsi

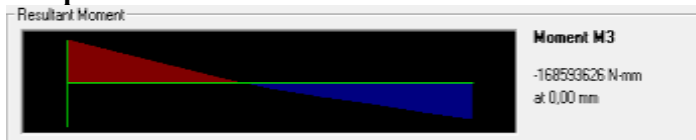


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

Momen torsi = 41435413,3 Nmm

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

**Tumpuan kiri :**

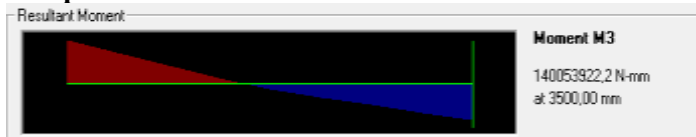


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-1,3 EQX-0,39 EQY

Momen tumpuan kiri = 168593626 Nmm

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

**Tumpuan kanan :**

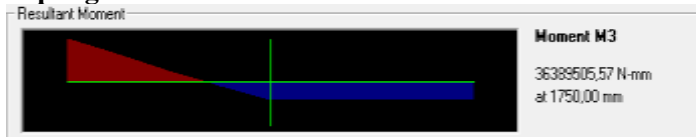


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

Momen tumpuan kanan = 140053922 Nmm

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

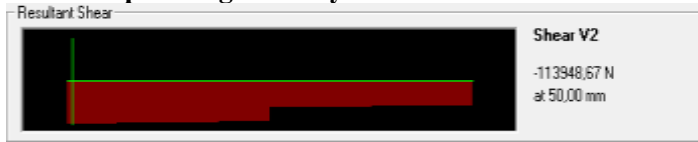
**Lapangan :**



Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-1,3 EQX-0,39 EQY

Momen lapangan = 36389505 Nmm

### Hasil Output Diagram Gaya Geser



Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Gaya geser = 113948,67 N

Berdasar SNI 03-2847-2012 ps 21.3.4.2 Vu diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 mm dari as kolom.

Syarat Gaya aksial pada balok

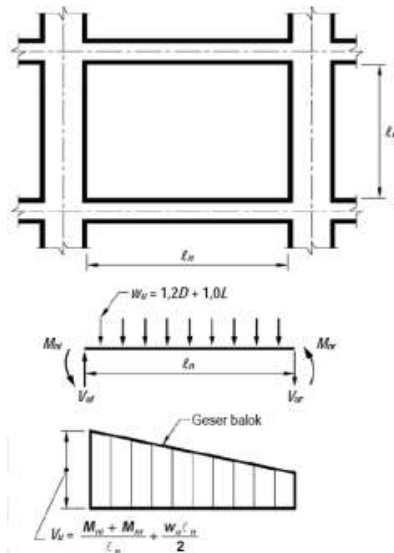
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \times 500 \times 29,05}{10} = 435750 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur, gaya aksial tekan akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-1,3 EQX-0,39 EQY pada komponen struktur sebesar 35809,72 N < 435750 N.

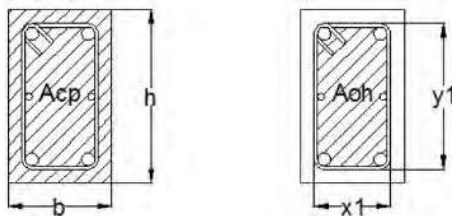


*Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).*



**Gambar 4. 48 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM**

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



**Gambar 4. 49 Luasan Acp dan Pcp**

*Luasan yang diatasi oleh keliling luar irisan penampang beton*

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \times h \\
 &= 300 \times 500 \\
 &= 150000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



*Parameter luas irisan penampang beton Acp*

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \\ &= (300 - 2.40) - 2.10 \times (500 - (2.40) - 2.10) \\ &= 80000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}})) \\ &= 2 \times ((300 - 2.40) - 2.10) + (500 - (2.40) - 2.10)) \\ &= 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.4.5.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi

(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39EQX-1,3EQY

$$T_u = 41435413,3 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{41435413,3}{0,75} \\ &= 55247217,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{150000^2}{1600} \\ &= 4718184,94 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{umax} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{150000^2}{1600} \\ &= 18759048,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{umin} > T_u \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u$

$4718184,94 \text{ Nmm} < 41435413,3 \text{ Nmm}$

(memerlukan tulangan puntir)

#### Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang harus memenuhi ketentuan

11.5.3.1 Sebagai berikut :

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{B_w \cdot d} \right)^2 + \left( \frac{T_u \cdot P_h}{1,7 A_o h^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right)$$

Dengan  $V_c$  dihitung dari persamaan berikut :

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$V_c = 120672,348 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left( \frac{113948,67}{300 \cdot 439} \right)^2 + \left( \frac{41435413,3 \times 1200}{1,7 \times 80000^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{120672,348}{300 \cdot 439} + 0,66 \sqrt{29,05} \right)$$

$$2,57 \leq 3,355 \text{ (memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

### **Tulangan Puntir Untuk Lentur**

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 A_o A_t F_{yt}}{s} \cot \theta$$

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 68400 \\ &= 58140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 A_o \times F_{yt} \times \cot \theta} \\ &= \frac{55247217,8}{2 \times 58140 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 3,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$\begin{aligned} A_L &= 3,21 \times 1120 \times \left( \frac{240}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 821,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{l \min} = \frac{0,42\sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,175$$

$$A_{l \min} = \frac{0,42\sqrt{29,05} \times 150000}{400} - (0,175) 1120 \frac{240}{400}$$

$$A_{l \min} = 691,39 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_l$  perlu  $\leq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_{l \min}$

$A_l$  perlu  $\geq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_l$  perlu

$821,31 \text{ mm}^2 \geq 701,89 \text{ mm}^2$  (maka gunakan  $A_l$  perlu)

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar  $752,38 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{752,38}{4} = 188,1 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi samping (kanan dan kiri) balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $376,19 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi samping)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{376,19\text{mm}^2}{132,79 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,83 \approx 4 \quad \text{Dipasang tulangan puntir } 4\text{Ø}13$$

Kontrol luasan tulangan pasang puntir

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= nx \text{Luasan } D \text{ puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi 13^2 \\ &= 531,14\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &\geq As \text{ perlu} \\ 531,14\text{mm}^2 &\geq 376,19\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

*Sehingga dipasang tulangan puntir sisi samping (kanan dan kiri) di tumpuan dan lapangan sebesar 4Ø13.*

#### 4.4.5.2 **Perhitungan Penulangan Lentur** **DAERAH TUMPUAN KANAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY  
Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 429 \\ &= 257,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 257,4 \\ &= 193,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 500 - 439 \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 68 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 29,05 \times 300 \times 0,85 \times 68 \\
 &= 428167,95 N
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{428167,95}{400} \\
 &= 1070,42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc x F_y x \left( d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\
 &= 1133,39 \times 400 \times \left( 439 - \frac{0,85 \times 68}{2} \right) \\
 &= 175591676,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\mu_{tumpuan} = 140053922,00 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{\mu_u}{\phi} \\
 Mn &= \frac{140053922,00}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$Mn = 155615468,9 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 155615468,9 - 175591676,3 \\
 &= -19976207,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= -19976207,41 \text{ Nmm} \leq 0 \\
 &(\text{tidak perlu tulangan lentur tekan})
 \end{aligned}$$

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal*

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 29,05 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,0315
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{140053922,00}{0,9} = 155615468,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{155615468,9}{400 \times 439^2} = 2,691 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{16,20} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 2,691}{400}} \right] \\
 &= 0,0071
 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 < 0,0071 < 0,0236 \text{ (Memenuhi)}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0071 \times 300 \times 439 \\
 &= 940,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As_{perlu} = 940,6 + \frac{752,4}{4}$$

$$As_{perlu} = 1128,7 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{1128,7 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,968 \approx 4 \text{ Dipasang tulangan lentur 4 D22}$$

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{pasang} &> As_{perlu} \\ 1521,14 \text{ mm}^2 &> 1128,7 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 1521,14 \text{ mm}^2 \\ &= 456,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \ D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{456,34 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,2 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$760,57 \text{ mm}^2 > 456,34 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$S_{tarik}$

$$= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tarik} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 37,3 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$37,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) \geq 1/3 \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$

*[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 22 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) \geq 1/3 M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1521,14 \text{ mm}^2$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 507,05 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1521,14 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 82,14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1521,14 \times 400 \times \left( 439 - \frac{82,14}{2} \right) \\ &= 236039413,62 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek :  $Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$$242123985,05 \text{ Nmm} > 155615468,89 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes (30/50) As C (3'-4) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 4 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 4 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D22

**DAREAH TUMPUAN KIRI****DAREAH TUMPUAN KIRI**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$(1,2+0,2 \text{ Sds})DL+1,0LL+0,39 \text{ EQX}+1,3 \text{ EQY}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left( \frac{600}{600 + Fy} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \times 439 \\ &= 263,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 263,4 \\
 &= 197,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 500 \times 439 \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 68 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 29,05 \times 300 \times 0,85 \times 68 \\
 &= 428167,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{428167,95}{400} \\
 &= 1070,42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1070,42 \times 400 \times \left( 439 - \frac{0,85 \times 68}{2} \right) \\
 &= 175591676,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 168593626 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{168593626}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 187326251,11 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 187326251,11 - 175591676,3 \\ &= 11734574,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \geq 0$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= 11734574,8 \text{ Nmm} > 0 \\ &(\text{perlu tulangan lentur tekan}) \end{aligned}$$

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tekan*

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

$$C_s' = T^2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d'} = \frac{11734574,8}{439 - 61} = 31043,85 \text{ N}$$

Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{X}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{61}{68}\right) \times 600 = 61,765 \text{ Mpa}$$

$$f_s' \geq f_y \quad \text{Maka Leleh} \quad f_s' = f_y$$

$$f_s' < f_y \quad \text{Maka Tidak Leleh} \quad f_s' = f_s'$$

Karena :

$$f_s' < f_y$$

$$\begin{aligned} 61,765 &< 400 \quad \text{Maka Tidak Leleh} \quad f_s' = \\ &61,765 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85 f_{c'}} = \frac{31043,85}{61,765 - (0,85 \times 29,05)} \\ &= 502,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{31043,85}{400} = 77,6 \text{ mm}^2$$

Tulangan perlu :

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} = 1070,42 + 77,6 = 1148 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = A_s' = 502,6 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{sperlu} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{sperlu} = 1148 + \frac{752,4}{4}$$

$$A_{sperlu} = 1336,1 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{sperlu}}{Luasan D_{lentur}}$$

$$n = \frac{1336,1 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 3,5 \approx 4 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 4 D22}$$

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 1521,14 \text{ mm}^2 &> 1336,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) Tulangan Lentur Tekan

$$A_s' = 502,6 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{Luasan D_{lentur}}$$

$$n = \frac{502,6}{380,286}$$

$$n = 1,3 \approx 2 \text{ buah} \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

Kontrol Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &> 502,6 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{Smaks} \geq \text{Ssejajar} &= 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ \text{Smaks} \leq \text{Ssejajar} &= 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1} \\ &\text{lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ S_{max} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1} \\ &= 37,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &\geq \text{Ssyarat agregat} \\ 37,3 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ S_{max} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &\geq \text{Ssyarat agregat} \\ 156 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S_{max} \leq 25mm$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M_{lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M_{lentur tumpuan (-)}$

*[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luas} D_{lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{luas} D_{lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M_{lentur tumpuan (-)}$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1521,14 \text{ mm}^2$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 507,05 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$a = \left( \frac{(As \cdot F_y) - (As' \cdot f_s')}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(1521,14 \times 400) - (760,57 \times 61,76)}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 75,8 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1521,14 \times 400 \times \left( 439 - \frac{75,8}{2} \right) \\
 &= 244053259,73 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :  $\theta M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$   
 $244053259,73 \text{ Nmm} > 187326251,11 \text{ Nmm}$   
 (Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes (BB) (30/50) As 10 (C-D) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 4 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 4 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D22

### **DAERAH LAPANGAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
 (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\
 &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \times 439 \\
 &= 263,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times X \\
 &= 0,75 \times 263,4 \\
 &= 197,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 600 - 439 \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 61 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 29,05 \times 400 \times 0,85 \times 61 \\
 &= 428167,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{428167,95}{400} \\
 &= 1070,42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} x F_y x \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 1070,42 \times 400 \times \left( 439 - \frac{0,85 \times 61}{2} \right) \\
 &= 175591676,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 \text{Mu lapangan} &= 36389505 \text{ Nmm} \\
 M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{36389505}{0,9} \\
 M_n &= 404332783,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 404332783,3 - 175591676,3 \\ &= -135158892,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= -135158892,9 \text{ Nmm} \leq 0 \\ &(\text{tidak perlu tulangan lentur tekan}) \end{aligned}$$

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal*

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29,05 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{36389505}{0,9} = 404332783,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{404332783,3}{400 \times 439^2} = 0,699 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{16,20} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 0,699}{400}} \right] \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0035 < 0,0018 < 0,0236$  (tidak Memenuhi)

Maka memakai  $\rho = \rho_{min}$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \times 300 \times 439 \\
 &= 460,95 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{Al}{4} \\
 A_{s\text{perlu}} &= 460,95 + \frac{752,4}{4} \\
 A_{s\text{perlu}} &= 649,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

#### Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} \\
 n &= \frac{649,05 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$n = 1,7 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 1 lapis :

#### Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$760,57 \text{ mm}^2 > 649,05 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

#### Luasan pasang ( $A_s'$ ) Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 A_s \\
 &= 0,3 \times 760,57 \text{ mm}^2 \\
 &= 228,17 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{228,17 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 0,6 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D22}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$760,57 \text{ mm}^2 > 228,17 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S_{max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M_{\text{lentur Lapangan}} (+) \geq 1/5 \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$

***[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]***

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang Tumpuan} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 1521,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang Lapangan} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur Lapangan}} (+) &\geq 1/5 M_{\text{lentur tumpuan}} (-) \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 1/5 \times 1521,14 \text{ mm}^2 \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 304,2 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

### Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{760,57 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 760,57 \times 400 \times \left( 439 - \frac{41,07}{2} \right) \\ &= 127309167,69 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek :  $\theta Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$127309167,69 \text{ Nmm} > 40432783,3 \text{ Nmm}$   
(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes (30/50) As 10 (C-D) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 2 D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D22

#### **4.4.5.3 Perhitungan Penulangan Geser**

Tipe balok : BS (40/60)

Dimensi balok (b balok) : 400 mm

Dimensi balok (h balok) : 600 mm

Kuat tekan beton ( $f'c$ ) : 29,05 MPa

Kuat leleh tul. geser ( $f_{yv}$ ) : 240 MPa

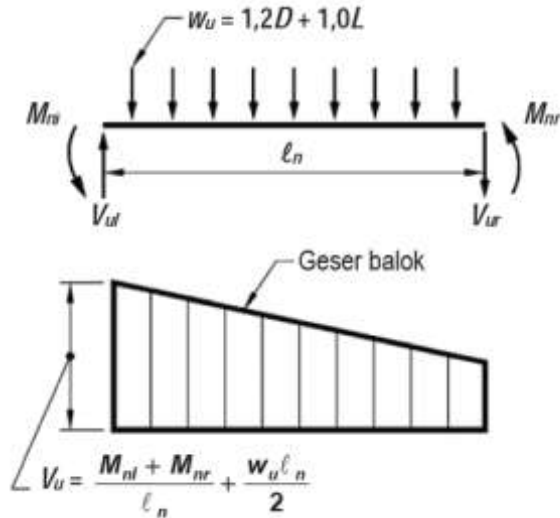
Diameter tul. geser ( $\emptyset$  geser) : 10 mm

$\beta_1$  : 0,85

Faktor reduksi geser ( $\phi$ ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BS (40/60) As 10 (C-D), diperoleh :

### Momen Tulangan Terpasang



**Gambar 4. 50 Gaya Geser Balok SRPMM**

### Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 4 D22 = 1521,14 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 2 D22 = 760,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1521,14 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 82,14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_l \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1521,14 \times 400 \times \left( 439 - \frac{82,14}{2} \right) \\ &= 242123985,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



### Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 4 D22 = 1521,14mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 2 D22 = 760,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{As' \cdot Fy}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1521,14 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 300} \right)$$

$$a = 82,14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_r \text{ pasang} &= As' \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 760,57 \times 400 \times \left( 439 - \frac{82,14}{2} \right) \\ &= 127309167,69 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 113948,67 N

### Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), ¼ bentang
- Wilayah 2 (daerah lapangan) , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)**

### Syarat kuat tekan beton (fc')

nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,478 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi)}$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.2)**

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$V_c = 120672,348 \text{ N}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s \min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 300 \times 439$$

$$= 43461 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = 0,33 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$= 234246,323 \text{ N}$$

$$2V_{s \max} = 0,66 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{29,05} \times 300 \times 439$$

$$= 468492,64 \text{ N}$$

Penulangan Geser Balok Bordes

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nr} + M_{nl}}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4)

Dimana :

- $V_{u1}$  = Gaya geser pada muka perletakan
- $M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)
- $M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)
- $l_n$  = Panjang bersih balok

Maka :

$$Vu_1 = \frac{242123985,05 + 127309167,69}{3000} + 113948,67$$

$$Vu_1 = 206306,96 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

$$206306,96 \text{ N} \leq 45252,13 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

$$45252,13 \text{ N} \leq 206306,96 \text{ N} \leq 90504,26 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ min})$$

$$90504,26 \text{ N} \leq 206306,96 \text{ N} \leq 123100,01 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (Vc + Vs \text{ min}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ max})$$

$$123100,01 \text{ N} \leq 206306,96 \text{ N} \leq 266189,00 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (Vc + Vs \text{ max}) \leq Vu \leq \emptyset (Vc + 2Vs \text{ max})$$

$$266189,00 \text{ N} \leq 206306,96 \text{ N} \leq 441873,7 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 5**.

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu - \emptyset Vc}{\emptyset}$$

$$Vs \text{ perlu} = \frac{206306,96 \text{ N} - 0,75 \times 120672,348 \text{ N}}{0,75}$$

$$Vs \text{ perlu} = 154403,6 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157,14 \times 240 \times 439}{252033,58}$$

$$S_{perlu} = 107,23 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 100 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$100 \text{ mm} < \frac{439}{2} = 219,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$100 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø 10-100

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a)  $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)**

- b)  $S_{\text{pakai}} < \frac{d}{4}$   
 $100 \text{ mm} < \frac{439}{4}$   
 $100 \text{ mm} < 110 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$
- c)  $S_{\text{pakai}} < 8 \times D \text{ lentur}$   
 $100 \text{ mm} < 8 \times 22$   
 $100 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$
- d)  $S_{\text{pakai}} < 24 \times D \text{ sengkang}$   
 $100 \text{ mm} < 8 \times 10$   
 $100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$
- e)  $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$   
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$

***Jadi penulangan geser balok bordes BB (30/50) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø 10-100 dengan sengkang 2 kaki***

## 2. Pada Wilayah Lapangan

Gaya geser diperoleh dari metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{206306,96 \times (\frac{1}{2} \times 3000 - 2 \times 500)}{\frac{1}{2} \times 3000}$$

$$Vu_2 = 68768,99 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c$$

$$68768,99 \text{ N} \leq 45252,13 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c$$

$$45252,13 \text{ N} \leq 68768,99 \text{ N} \leq 90504,26 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min})$$

$$90504,26 \text{ N} \leq 68768,99 \text{ N} \leq 123100,01 \text{ N}$$

( Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max})$$

$$123100,01 \text{ N} \leq 68768,99 \text{ N} \leq 266189 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \text{ max})$$

$$266189 \text{ N} \leq 93176,48 \text{ N} \leq 441873,746 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3**.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min}$$

$$V_s \text{ perlu} = 43461 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157,14 \times 240 \times 439}{43461 \text{ N}}$$

$$S_{perlu} = 380,95 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 200 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$200 \text{ mm} < \frac{439}{2} = 219,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset$  10-200

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok.

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(3)**

$$\begin{array}{lll} \text{f) } S_{\text{pakai}} & < & \frac{d}{2} \\ 200\text{mm} & < & \frac{439}{2} \\ 200\text{mm} & < & 219,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

***Jadi penulangan geser balok bordes BB (30/50) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang  $\emptyset$  10-200 dengan senggang 2 kaki***

#### 4.4.5.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12*.

##### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3*. dan faktor modifikasi dari *pasal 12.2.4*. dan *pasal 12.2.5*.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

*[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]*

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$ld = \left[ \frac{fy}{1,1\lambda \times \sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{Db}} \right] d_b$$

Dimana,

$fc'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$fy$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan (1,3)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,5)

$\Psi_s$  = faktor ukuran tulangan (1,0)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan (1,0)

$db$  = diameter nominal tulangan (22)

$C_b$  = Yang lebih kecil :

- a) Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$C_b$  = decking + sengkang + ( $\frac{1}{2} \times D$  lentur)

$C_b$  = 50 mm + 10 mm + ( $\frac{1}{2} \times 22$  mm)

$C_b$  = 71 mm



b) Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$$C_b = S_{\max} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur}) + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 25 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm})$$

$$C_b = 47 \text{ mm}$$

$K_{tr}$  = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[ \frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{29,05'}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 1,0}{\frac{61+0}{22}} \right] \times 22$$

$$ld = 1038,9 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$1038,9 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$1354,8 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam  $ld$  diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]**

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{1644,03}{1901,43} \right] \times 1354,5 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 1171,4 \text{ mm}$$

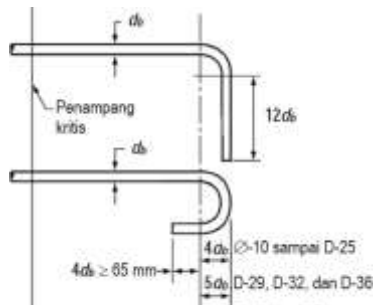
*Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1200 mm*

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart  $ldh$  ditentukan dari **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.5.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari  $8d_b$  dan 150 mm

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]**

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart



**Gambar 4. 51 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart**

- Perhitungan Penyaluran Kait:

Untuk batang tulangan ulir  $ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$

Dimana,

$f_c'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$f_y$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,2)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan (1,0)  $d_b$  = diameter nominal tulangan (22)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1,2 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \times 22$$

$$ldh = 470 \text{ mm}$$

- Perhitungan Reduksi Penyaluran Kait:

Reduksi dalam  $ldh$  harus diizinkan untuk dikalikan faktor faktor sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3.**

Untuk kait 90 derajat dikalikan 0,8

*[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3 (b)]*

$$ldh_{reduksi} = ldh \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 470 \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 376 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$8 d_b = 176 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

*Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 400 mm*

Panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

#### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan  $ldc$  dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.* dan faktor modifikasi dari *pasal 12.3.3.* Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

*[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]*

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Untuk batang tulangan ulir  $ldc$  harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$\begin{aligned} \text{a. } ldc &= \left( \frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \right) d_b \\ ldc &= \left( \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \right) \times 22 \\ ldc &= 392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } ldc &= (0,043 fy) d_b \\ ldc &= (0,043 \times 400) \times 22 \\ ldc &= 378 \text{ mm} \\ \text{Maka ldc dipilih } &392 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Reduksi dalam *ldc* diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]

$$\begin{aligned} \text{Reduksi } ldc &= \left[ \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right] \\ \text{Reduksi } ldc &= \left[ \frac{570,43}{760,57} \right] \times 392 \text{ mm} \\ \text{Reduksi } ldc &= 294 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang kait

$$4 d_b + 4 d_b = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm}$$

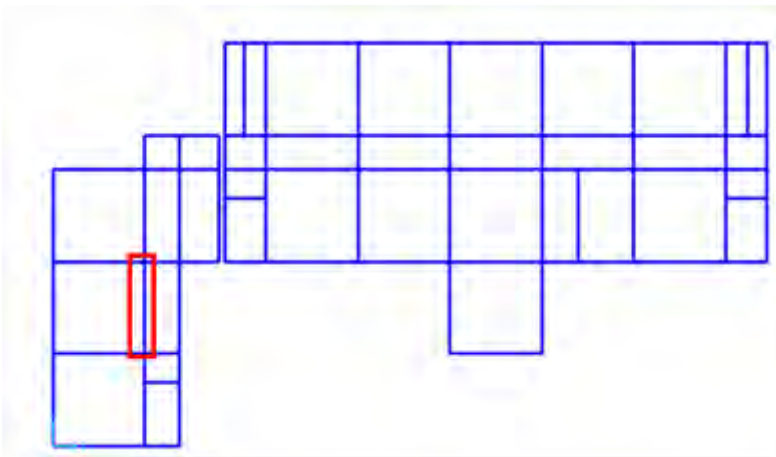
TIPE BALOK	BALOK BORDES (BB) 300x500		
BAGIAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
			
TULANGAN ATAS	4 D 22	2 D 22	4 D 22
TULANGAN BAWAH	2 D 22	2 D 22	2 D 22
SENGKANG	D10 - 50	D10 - 200	D10 - 50
TULANGAN PUNTIR	4 D 13		

Gambar 4. 52 Detail Penulangan Balok Bordes (BB)

## 4.5 Perhitungan Struktur Primer

### 4.5.1 Perhitungan Penulangan Sloof

Perhitungan tulangan balok sloof : BS (40/60) As 2 (B-C) elevasi  $\pm 0.00$ . Berikut data-data perencanaan sloof, gambar denah sloof, hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisa stuktur, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok sloof adalah sebagai berikut :



**Gambar 4. 53 Denah Sloof**

a. Data-data perencanaan tulangan sloof :

- |                           |              |
|---------------------------|--------------|
| • Tipe balok              | :BS (40/60)  |
| • As balok                | :As 10 (C-D) |
| • Bentang balok (L balok) | :8000 mm     |
| • Dimensi balok (b balok) | :400 mm      |
| • Dimensi balok (h balok) | :600 mm      |
| • Bentang kolom (L kolom) | :5000 mm     |
| • Dimensi kolom (b kolom) | :500 mm      |
| • Dimensi kolom (h kolom) | :500 mm      |

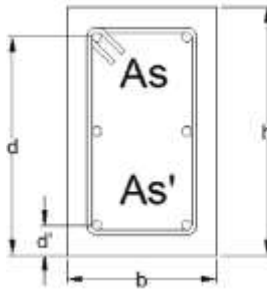
- Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) :29,05 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) :400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) :240 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ ) :240 MPa
- Diameter tulangan lentur ( $D$  lentur) :22 mm
- Diameter tulangan geser ( $\emptyset$  geser) :10 mm
- Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$  puntir) :13 mm
- Jarak spasi tulangan sejajar ( $S$  sejajar) :25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
- Jarak spasi tulangan antar lapis :25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
- Tebal selimut beton ( $t$  decking) :50 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.(c))
- Faktor  $\beta_1$  :0,85  
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3))
- Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) :0,9  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))
- Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) :0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))
- Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) :0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif sloof :

- Untuk tulangan 1 lapis :

$$d = h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi \text{ tul lentur} \\ = 600 - 50 - 10 - (1/2 \cdot 22) = 529 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + 1/2 \phi \text{ tul lentur} \\ = 50 + 10 + (1/2 \cdot 22) \\ = 71 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 54 Tinggi efektif Sloof**

- a. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program analisis struktur :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu analisis struktur, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisis struktur yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

Kombinasi Beban Non Gempa :

- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.  
 $= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.  
 $= (1,2 + 0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,3 \text{ EQX} + 0,39 \text{ EQY}$
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y.  
 $= (1,2 + 0,2 \text{ Sds}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,39 \text{ EQX} + 1,3 \text{ EQY}$

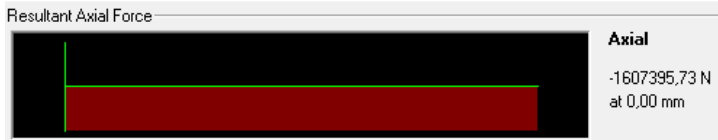
- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.  

$$=(1,2+0,2 \text{ Sds})DL + 1,0 LL - 1,3 EQX - 0,39 EQY$$
- Pembabanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y.  

$$=(1,2+0,2 \text{ Sds})DL + 1,0 LL - 0,39 EQX - 1,3 EQY$$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan beban gempa.

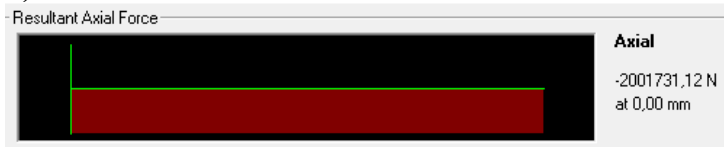
#### Hasil Output Diagram aksial Kiri (Frame 438) (As 2-B)



Kombinasi (1,2D+1,6 LL)

Aksial = 1607395,73 N

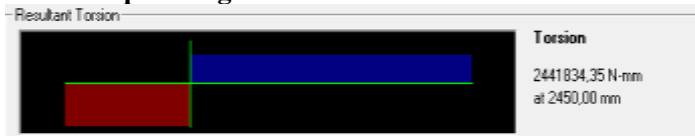
#### Hasil Output Diagram aksial Kanan (Frame 450) (As 2-C)



Kombinasi (1,2D+1,6 LL)

Aksial = 2001731,12 N

#### Hasil Output Diagram Torsi

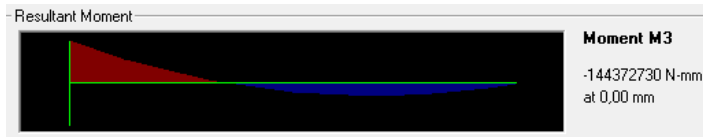


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

Momen torsi = 2441834,4 Nmm

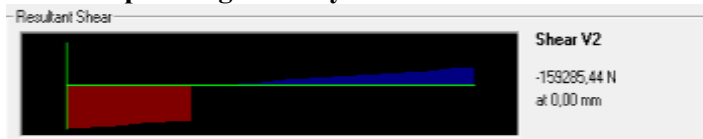
#### Hasil Output Diagram Momen Lentur





Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY  
Momen torsi = 144372730Nmm

### Hasil Output Diagram Gaya Geser



Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY  
Momen torsi = 159285,4 N

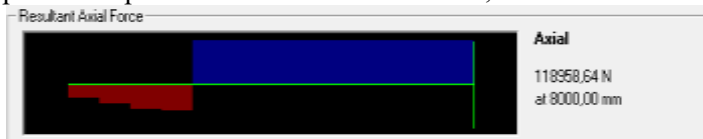
Berdasar SNI 03-2847-2012 ps 21.3.4.2 Vu diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 mm dari as kolom.

#### b. Syarat Gaya aksial pada balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

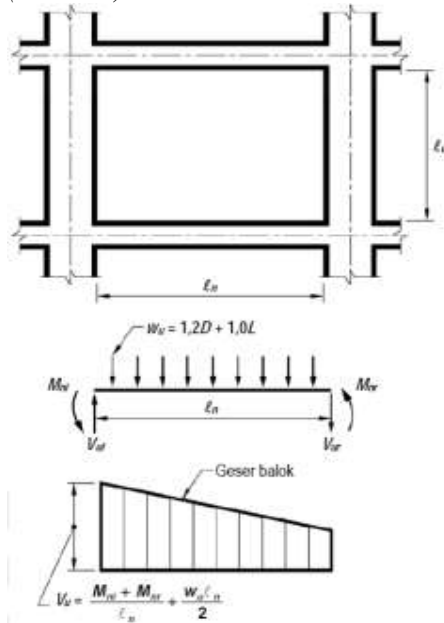
$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \times 600 \times 29,05}{10} = 697200 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur, gaya aksial tekan akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY pada komponen struktur sebesar 118958,64 N < 697200 N.



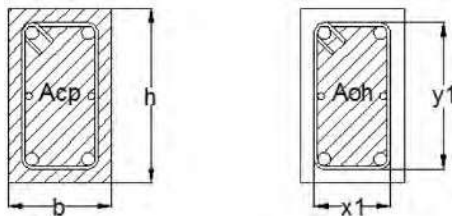
*Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan*

*menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).*



**Gambar 4. 55 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM**

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



**Gambar 4. 56 Luasan Acp dan Pcp**

*Luasan yang diatasi oleh keliling luar irisan penampang beton*

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Parameter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$*

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \\ &= (400 - 2.50) - 2.20 \times (600 - (2.50) - 2.10) \\ &= 134400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}})) \\ &= 2 \times ((400 - 2.50) - 2.10) + (600 - (2.50) - 2.10)) \\ &= 1520 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.5.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi

(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39EQX-1,3EQY

$$T_u = 2441834,35 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{2441834,35}{0,75} \\ &= 3255779,13 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} T_{u \min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{240000^2}{2000} \\ &= 9662842,75 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{240000^2}{2000} \\ &= 38418531,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$  tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$  memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$9662842,75 \text{ Nmm} > 2441834,35 \text{ Nmm}$

(tidak memerlukan tulangan puntir)

Penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir tetapi sesuai **SNI 2847 2013 Pasal 11.5.5.1** harus tetap disediakan tulangan torsi minimum berupa tulangan memanjang.

#### Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang harus memenuhi ketentuan 11.5.3.1 Sebagai berikut :

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{B_w \cdot d} \right)^2 + \left( \frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_o h^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_u}{B_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{159285,4}{400 \cdot 529}\right)^2 + \left(\frac{2441834,35 \cdot 1520}{1,7 \cdot 134400^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{159285,4}{400 \cdot 529} + 0,66\sqrt{29,05} \right)$$

$$0,7527 \leq 3,2325 \text{ (memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

### **Tulangan Puntir Untuk Lentur**

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang  $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 134400 \\ &= 114240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi} \\ &= \frac{77471795,1}{2 \times 114240 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 1,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

$$A_L = 1,37 \times 1520 \times \left( \frac{400}{400} \right) \cot^2 45$$

$$= 795,47 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{L \min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} x A_{cp}}{F_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{400}{400} = 0,175$$

$$A_{L \min} = \frac{0,42 \sqrt{29,05} \times 240000}{400} - (0,175) 1520 \frac{400}{400}$$

$$A_{L \min} = 1092,23 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_L \text{ perlu} \leq A_{L \min}$  maka gunakan  $A_{L \min}$

$A_L \text{ perlu} \geq A_{L \min}$  maka gunakan  $A_L \text{ perlu}$

$795,47 \text{ mm}^2 \leq 1092,23 \text{ mm}^2$  (maka gunakan  $A_{L \min}$ )

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar  $1092,2 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_L}{4} = \frac{1092,23}{4} = 273,06 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :  
 pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok  
 pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi samping (kanan dan kiri) balok  
 mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar  
 546,12 mm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi  
 samping)

$$n = \frac{A_s}{Luasan D puntir}$$

$$n = \frac{546,12 \text{ mm}^2}{132,79 \text{ mm}^2}$$

$$n = 4,11 \approx 6$$

Dipasang tulangan puntir 6D13

Kontrol luasan tulangan pasang puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times Luasan D puntir \\ &= 6 \times 0,25 \pi 13^2 \\ &= 796,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 796,4 \text{ mm}^2 &\geq 546,12 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

*Sehingga dipasang tulangan puntir sisi samping (kanan  
 dan kiri) di tumpuan dan lapangan sebesar 6D13*

#### 4.5.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur

$$P_{u_{kanan}} = 2001731,12 \text{ N}$$

$$P_{u_{kiri}} = 1607395,73 \text{ N}$$

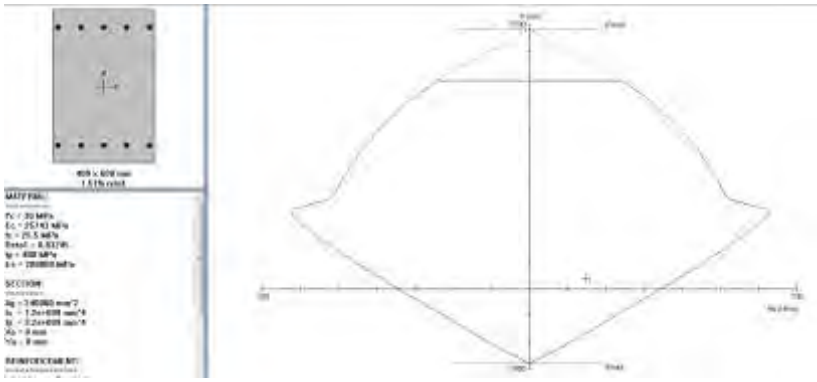
$$P_{u_{maks}} = 2005479,93 \text{ N}$$

Sehingga gaya tarik  $P_n$  yang terjadi pada sloof adalah :

$$10 \% P_{u_{maks}} = 10 \% \times 2001731,12 \text{ N} = 200548 \text{ N}$$

$\mu_{maks} = 144372730\text{Nmm}$

Direncanakan tulangan tarik 5 D 22 dan tulangan tekan 5 D 22. Analisa kemampuan penampang menggunakan program PCA COL



Section:

Rectangular: Width = 400 mm      Depth = 600 mm

Gross section area,  $A_g = 240000\text{ mm}^2$   
 $I_x = 1.24 \times 10^9\text{ mm}^4$        $I_y = 1.24 \times 10^9\text{ mm}^4$   
 $X_c = 0\text{ mm}$        $Y_c = 0\text{ mm}$

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615M

Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
# 10	10	71	# 13	13	129	# 16	16	199
# 19	19	284	# 22	22	387	# 25	25	510
# 29	29	645	# 32	32	813	# 36	36	1006
# 43	43	1452	# 57	57	2581			

Confinement: Tied: #10 ties with #32 bars, #10 with larger bars.  
 $\phi_{lt}(s) = 0.8$ ,  $\phi_{lt}(c) = 0.9$ ,  $\phi_{lt}(o) = 0.68$

Layouts Rectangular  
Pattern: Sides Different (Cover to transverse reinforcement)  
Total steel area,  $A_s = 3870\text{ mm}^2$  at 1.61%

	Top	Bottom	Left	Right
Bars	5 #22	5 #22	0 #22	0 #22
Cover(mm)	50	50	2	2

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

Do.	$P_u$ kN	$M_u$ kN-m	$V_u$ kN	$T_u$ kN-m
1	204.0	147.0	389.1	2.647



Berdasarkan hasil output PCA COL diketahui bahwa dengan tulangan tarik 5 D22 dan tulangan tekan 5 D22 penampang sloof dapat menahan gaya aksial dan momen yang terjadi.

As pasang tarik = As pasang tekan

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 1 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 1D22

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ S_{\text{max}} &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1} \\ &= 42,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

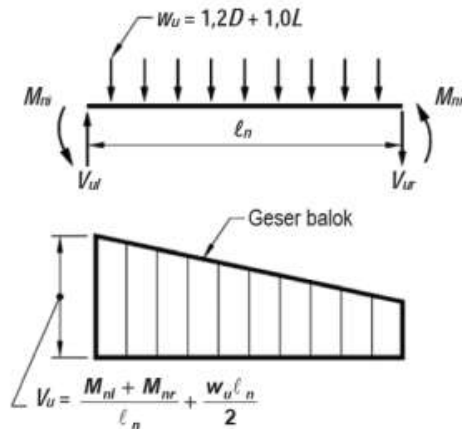
$$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jadi dipasang tulangan lentur sloof 5 D 22

#### **4.5.1.3 Perhitungan Penulangan Geser**

Tipe balok	: BS (40/60)
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 29,05 MPa

Kuat leleh tul. geser ( $f_{yv}$ ) : 240 MPa  
 Diameter tul. geser ( $\emptyset$  geser) : 10 mm  
 $\beta_1$  : 0,85  
 Faktor reduksi geser ( $\phi$ ) : 0,75  
 Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BS (40/60) As 10 (C-D), diperoleh :  
Momen Tulangan Terpasang



**Gambar 4. 57 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMM**

#### Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 5 D22 = 1901,43 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 2 D22 = 760,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1901,43 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 77,00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_l \text{ pasang} &= As.Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1901,43 \times 400 \times \left(529 - \frac{77}{2}\right) \\
 &= 373058652,12 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### Momen Nominal Kanan

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pakai tulangan tarik 5 D22} = 1901,43 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D22} = 760,57 \text{ mm}^2$$

$$a = \left( \frac{As'.Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{760,57 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 30,80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_r \text{ pasang} &= As'.Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 760,57 \times 400 \times \left(529 - \frac{77}{2}\right) \\
 &= 156251532,91 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY didapatkan :

$$\text{Gaya geser terfaktor } Vu = 159285,4 \text{ N}$$

### Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang
- Wilayah 2 (daerah lapangan) , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)**

Syarat kuat tekan beton ( $f_c'$ )

nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,478 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi)}$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.2)**

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{29,05} \times 400 \times 529$$

$$V_c = 193882,072 \text{ N}$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)**

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s \min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 400 \times 529$$

$$= 69828 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{29,05} \times 400 \times 529$$

$$= 376359,317 \text{ N}$$

$$2V_{s \max} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{29,05} \times 400 \times 529$$

$$= 752718,634$$

### Penulangan Geser Balok

Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$Vu_1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{Wu + ln}{2}$$

$$Vu_1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4)

Dimana :

- $Vu_1$  = Gaya geser pada muka perletaka
- $Mnl$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)
- $Mnr$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)
- $ln$  = Panjang bersih balok

Maka :

$$Vu_1 = \frac{3730586652,12 + 156251532,91}{7500} + 159285,4$$

$$Vu_1 = 229860,09 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

#### Kondisi 1

(Tidak perlu tulangan geser)

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

$$229860,09 \text{ N} \leq 72705,78 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

#### Kondisi 2

(Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$

$$72705,78 \leq 229860,09 \text{ N} \leq 145411,55 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

#### Kondisi 3

(Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset (Vc + Vs \text{ min})$$

$$145411,55 \text{ N} \leq 229860,09 \text{ N} \leq 197782,554 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \min) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \max)$$

$$197782,554 \text{ N} \leq 229860,09 \text{ N} \leq 427681 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \max) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \max)$$

$$427681 \text{ N} \leq 229860,09 \text{ N} \leq 709950,53 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{229860,09 - 0,75 \times 193882,072}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 112598,05 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157,14 \times 240 \times 529}{112598,05}$$

$$S_{\text{perlu}} = 177,19 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 125 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$125 \text{ mm} < \frac{529}{2} = 264,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10-125$

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a)  $d/4$

b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal

c) 24 kali diameter sengkang dan

d) 300 mm

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)**

$$\begin{array}{lll} \text{a) } S_{\text{pakai}} & < & \frac{d}{4} \\ 125 \text{ mm} & < & \frac{529}{4} \\ 125 \text{ mm} & < & 132 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{b) } S_{\text{pakai}} & < & 8 \times D \text{ lentur} \\ 125 \text{ mm} & < & 8 \times 22 \\ 125 \text{ mm} & < & 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 \text{c) } S_{\text{pakai}} & < & 24 \times D \text{ sengkang} \\
 125\text{mm} & < & 8 \times 10 \\
 125\text{mm} & < & 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \\
 \\ 
 \text{d) } S_{\text{pakai}} & < & 300 \text{ mm} \\
 125\text{mm} & < & 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{array}$$

***Jadi penulangan geser balok sloof BS (40/60) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø 10-125 dengan sengkang 2 kaki***

Pada Wilayah Lapangan

Gaya geser diperoleh dari metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} &= \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln} \\
 Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} \\
 Vu_2 &= \frac{229860,09 \times (\frac{1}{2} \times 7500 - 2 \times 600)}{\frac{1}{2} \times 7500}
 \end{aligned}$$

$$Vu_2 = 156304,86 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$$

$$156304,86 \text{ N} \leq 72705,78 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$$



$$72705,78 \leq 156304,86 \text{ N} \leq 145411,55 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min})$$

$$145411,55 \text{ N} \leq 156304,86 \text{ N} \leq 197782,554 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max})$$

$$197782,554 \text{ N} \leq 156304,86 \text{ N} \leq 427681 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \text{ max})$$

$$427681 \text{ N} \leq 156304,86 \text{ N} \leq 709950,53 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3**.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min}$$

$$V_s \text{ perlu} = 69828 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157,14 \times 240 \times 529}{69828 \text{ N}}$$

$$S_{perlu} = 285,6 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 250 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$250 \text{ mm} < \frac{529}{2} = 264,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$250 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10-250$

**Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser**

**Balok**

Senggang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok.

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(3)**

$$\begin{array}{lll} \text{g) } S_{pakai} & < & \frac{d}{2} \\ 250\text{mm} & < & \frac{529}{2} \\ 250\text{mm} & < & 264,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

***Jadi penulangan geser balok sloof BS (40/60) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang  $\emptyset 10-250$  dengan senggang 2 kaki***

#### **4.5.1.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.***

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3.*** dan faktor modifikasi dari ***pasal 12.2.4.*** dan ***pasal 12.2.5.***

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

***[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]***

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$l_d = \left[ \frac{f_y}{1,1\lambda \times \sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{D_b}} \right] d_b$$

Dimana,

$f_c'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$f_y$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan (1,3)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,5)

$\Psi_s$  = faktor ukuran tulangan (1,0)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan (1,0)

$d_b$  = diameter nominal tulangan (22)

$C_b$  = Yang lebih kecil :

- c) Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$C_b$  = decking + sengkang + ( $\frac{1}{2} \times D$  lentur)

$C_b$  = 50 mm + 10 mm + ( $\frac{1}{2} \times 22$  mm)

$C_b$  = 71 mm

- d) Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$C_b$  =  $S_{\max}$  + ( $\frac{1}{2} \times D$  lentur) + ( $\frac{1}{2} \times D$  lentur)

$C_b$  = 50 mm + ( $\frac{1}{2} \times 22$  mm) + ( $\frac{1}{2} \times 22$  mm)

$C_b$  = 71 mm

$K_{tr}$  = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[ \frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{29,05'}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 1,0}{\frac{47+0}{22}} \right] \times 22$$

$$ld = 1354,8 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$1354,8 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam  $ld$  diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]**

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{1644,03}{1901,43} \right] \times 1354,5 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 1171,4 \text{ mm}$$

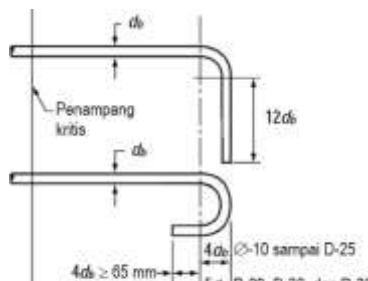
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1200 mm

#### Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart  $ldh$  ditentukan dari **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.5.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari  $8d_b$  dan 150 mm

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]**

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart



**Gambar 4. 58 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart**

- Perhitungan Penyaluran Kait:

Untuk batang tulangan ulir  $ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$

Dimana,

$f_c' =$  kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$f_y =$  kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_e =$  faktor pelapis (1,2)

$\lambda =$  faktor beton agregat ringan

(1,0) $d_b =$  diameter nominal tulangan (22)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1,2 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \times 22$$

$$ldh = 470 \text{ mm}$$

- Perhitungan Reduksi Penyaluran Kait:

Reduksi dalam  $ldh$  harus diizinkan untuk dikalikan faktor faktor sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3.**

Untuk kait 90 derajat dikalikan 0,8

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3 (b)]**

$$ldh_{reduksi} = ldh \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 470 \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 376 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$8 d_b = 176 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 400 mm

Panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan  $ldc$  dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.** dan faktor

modifikasi dari **pasal 12.3.3**. Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]**

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Untuk batang tulangan ulir  $l_{dc}$  harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$c. \quad l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \right) \times 22$$

$$l_{dc} = 392 \text{ mm}$$

$$d. \quad l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 22$$

$$l_{dc} = 378 \text{ mm}$$

Maka  $l_{dc}$  dipilih 392 mm

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Reduksi dalam  $l_{dc}$  diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]**

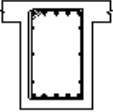
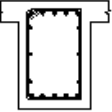
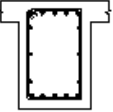
$$\text{Reduksi } l_{dc} = \left[ \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } l_{dc} = \left[ \frac{570,43}{760,57} \right] \times 392 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } l_{dc} = 294 \text{ mm}$$

Panjang kait

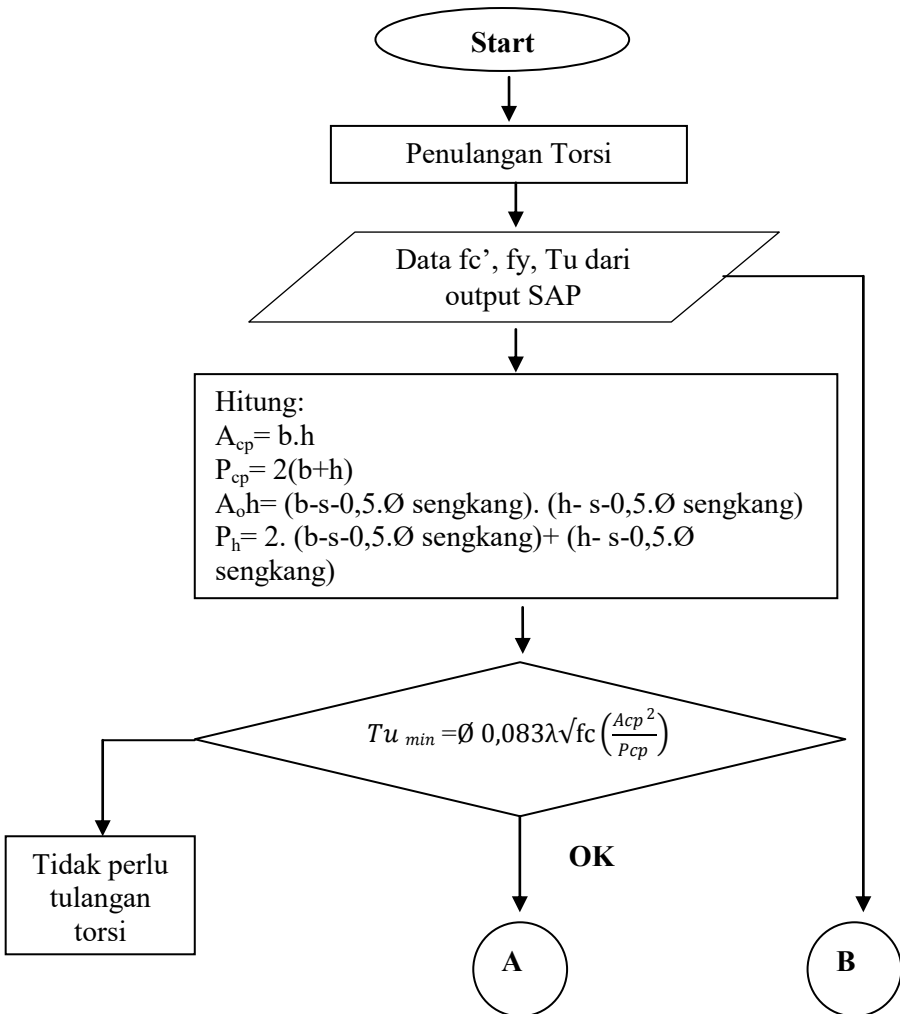
$$4 d_b + 4 d_b = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm}$$

TIPE BALOK	SLOOF (BS) 400x600		
BAGIAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
			
TULANGAN ATAS	5 D 22	5 D 22	5 D 22
TULANGAN BAWAH	5 D 22	5 D 22	5 D 22
SENGKANG	Ø10 - 125	Ø10 - 250	Ø10 - 125
TULANGAN PUNTIR	6 D 13		

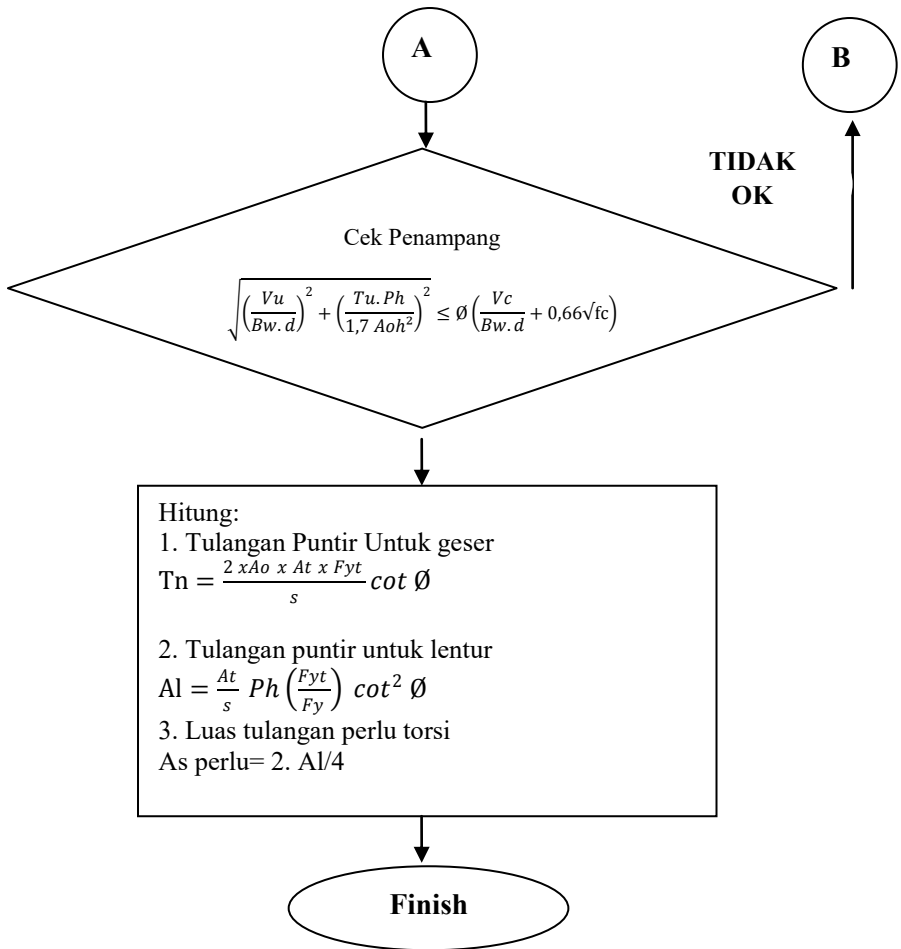
**Gambar 4. 59 Detail Penulangan Sloof (S1)**

#### 4.5.2 Perhitungan Penulangan Balok Induk

##### ➤ Flowchart Penulangan Torsi

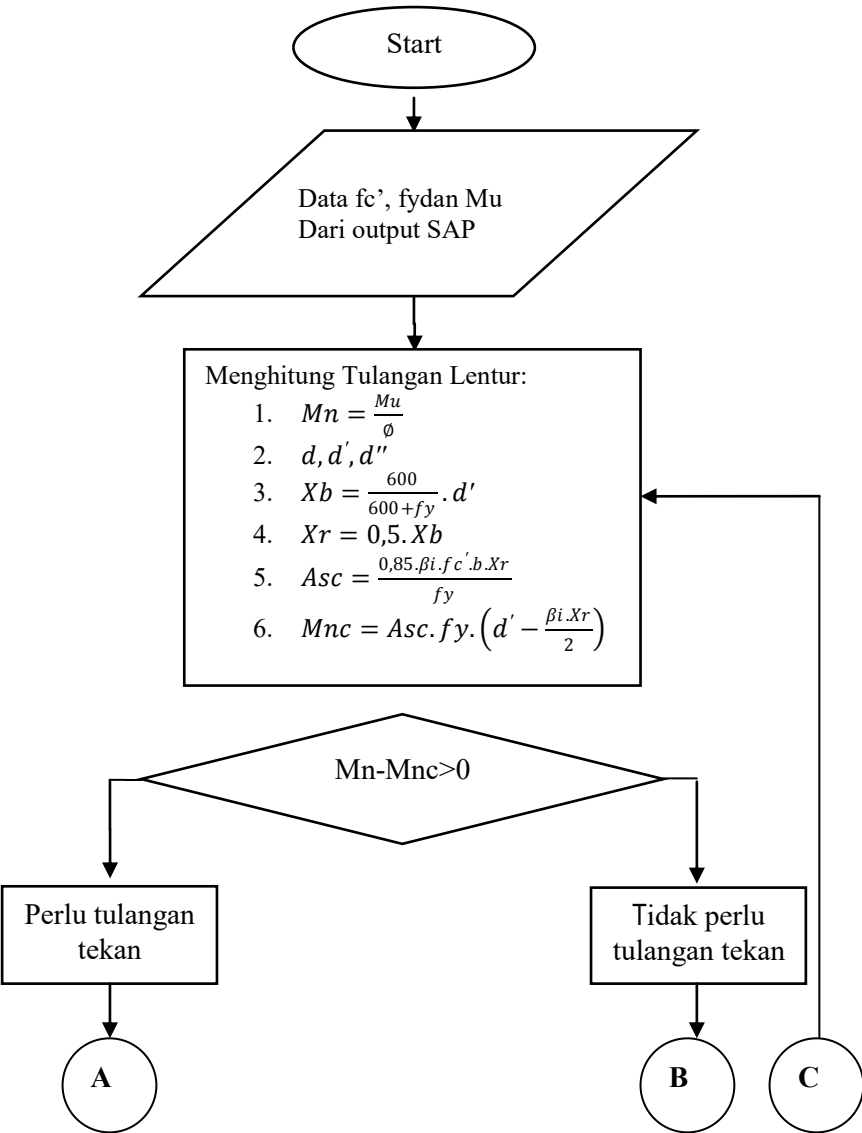


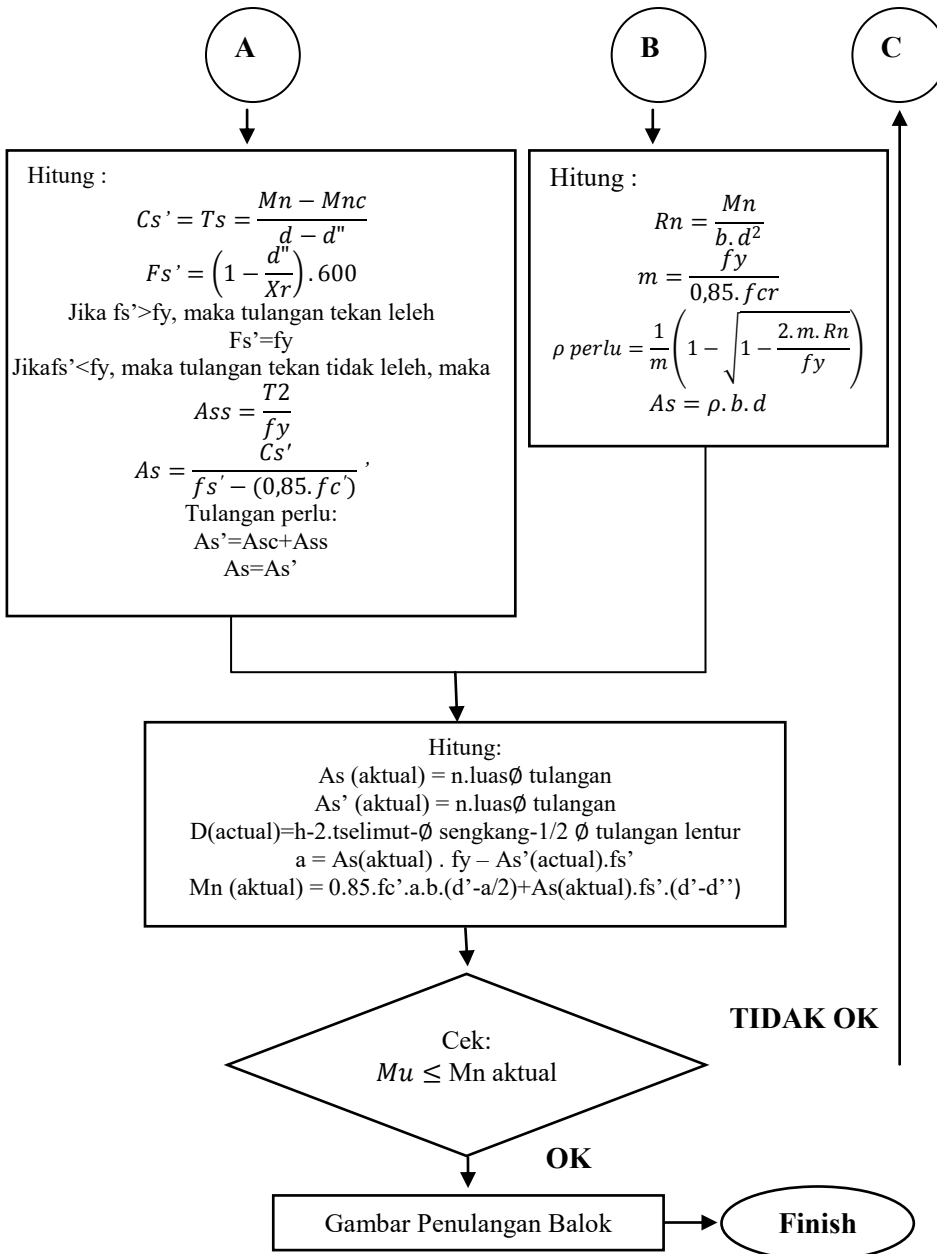




**Gambar 4. 60 Flowchart Peulangan Torsi Balok**

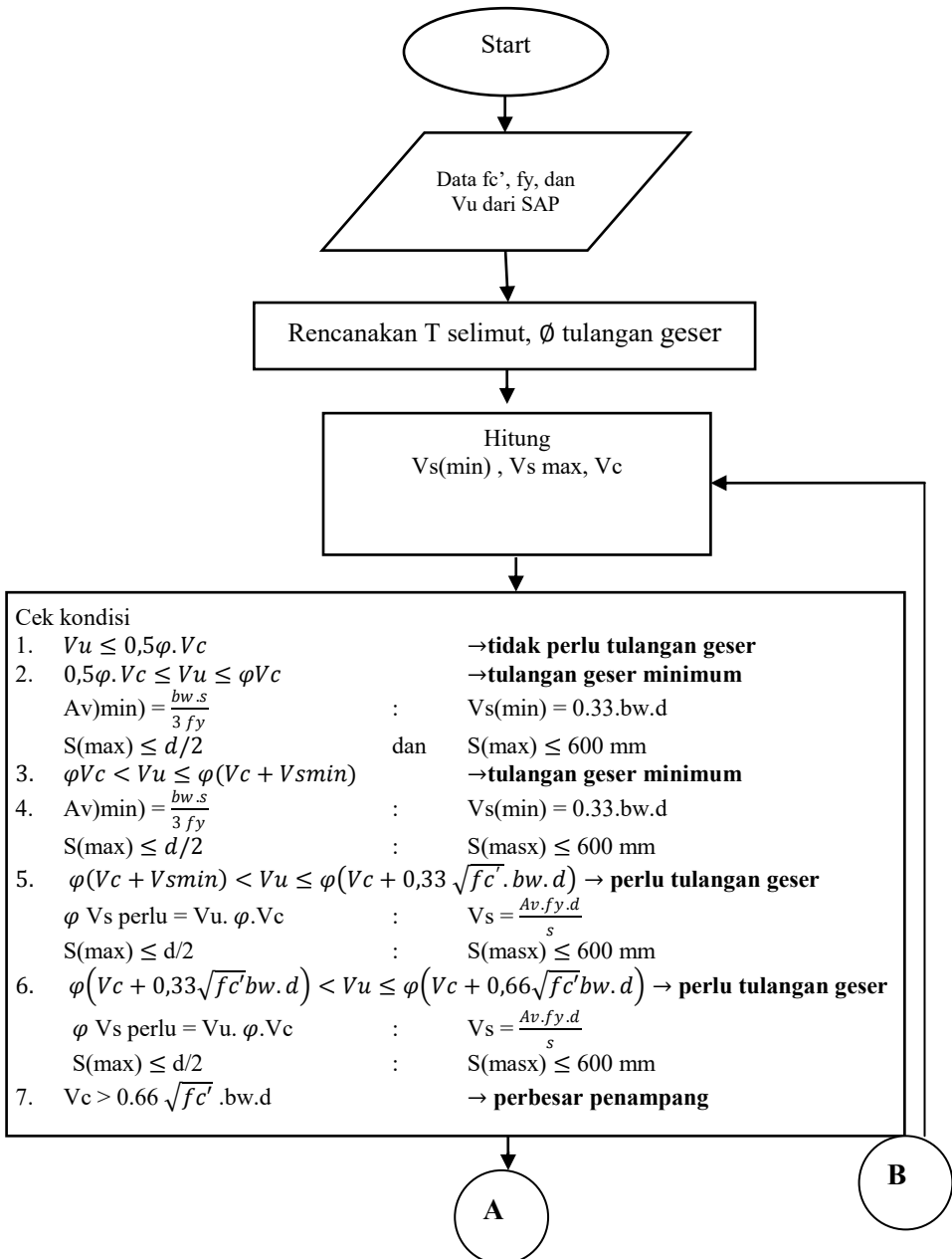
➤ Flowchart Penulangan Lentur

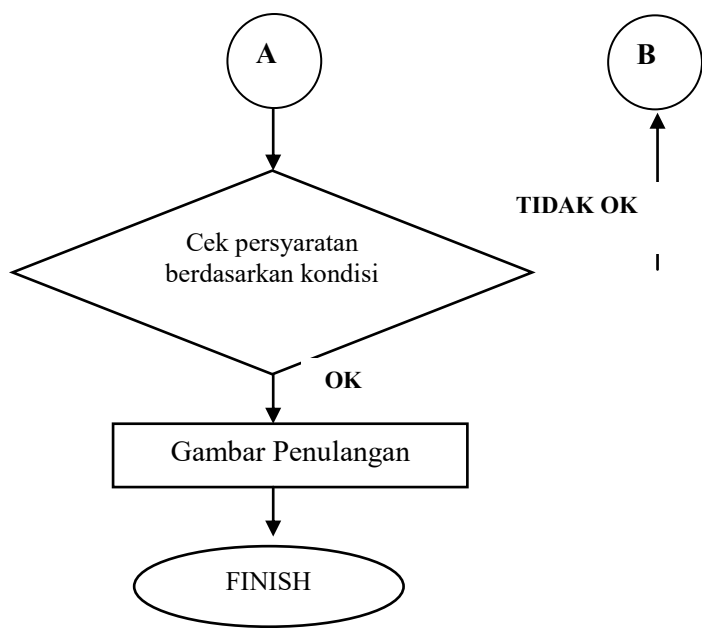




Gambar 4. 61 Flowchart Penulangan Lentur Balok

## ➤ Flowchart Penulangan Geser

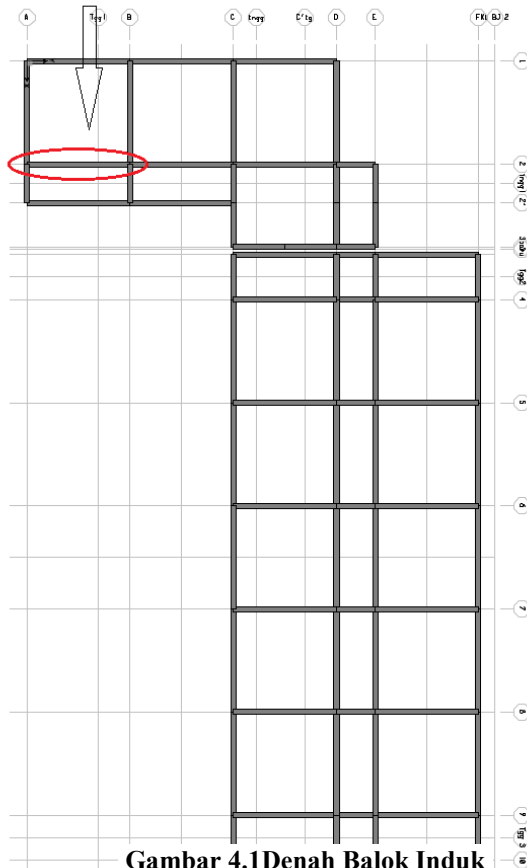




**Gambar 4. 62 Flowchart Penulangan Geser Balok**

Perhitungan tulangan balok induk : B1 (40/60) As 2 (A-B) elevasi  $\pm 5.00$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisa stuktur, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

#### Balok yang Ditinjau



**Gambar 4.1 Denah Balok Induk**

a. Data-data perencanaan tulangan balok :

- Tipe balok : B1 (40/60)
- As balok : As 2 (A-B)
- Bentang balok (L balok) : 8000 mm
- Dimensi balok (b balok) : 400 mm
- Dimensi balok (h balok) : 600 mm
- Bentang kolom (L kolom) : 5000 mm
- Dimensi kolom (b kolom) : 500 mm
- Dimensi kolom (h kolom) : 500 mm
- Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 29,05 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ ) : 400 MPa
- Diameter tulangan lentur (D lentur) : 22 mm
- Diameter tulangan geser ( $\emptyset$  geser) : 10 mm
- Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$  puntir) : 13 mm
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
- Jarak spasi tulangan antar lapis : 25 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
- Tebal selimut beton (t decking) : 50 mm  
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.(c))
- Faktor  $\beta_1$  : 0,85  
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3))
- Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))
- Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))
- Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75  
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif balok :

- Untuk tulangan 1 lapis :

$$d = h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi_{\text{tul lentur}}$$

$$= 600 - 50 - 10 - (1/2 \cdot 22)$$

$$= 529 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \phi \text{senggang} + 1/2 \phi \text{ tul lentur}$$

$$= 50 + 10 + (1/2 \cdot 22)$$

$$= 71 \text{ mm}$$

- Untuk tulangan 2 lapis

$$d = h - \text{decking} - \phi \text{senggang} - \phi \text{ tul lentur} - (1/2 S)$$

$$= 600 - 50 - 10 - 22 - (1/2 \cdot 25)$$

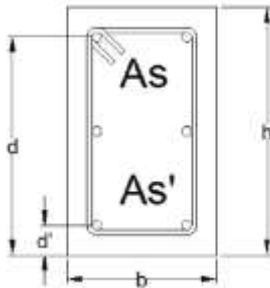
$$= 505,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \phi \text{senggang} + \phi \text{ tul lentur} + (1/2 S)$$

$$= 50 + 10 + 22 + (1/2 \cdot 25)$$

$$= 94,5 \text{ mm}$$

Gambar balok detail tinggi efektif



b. Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program analisis struktur :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu analisis struktur, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok. Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari program analisis struktur yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan

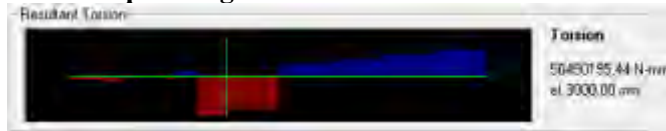


terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa

Kombinasi Beban Non Gempa :

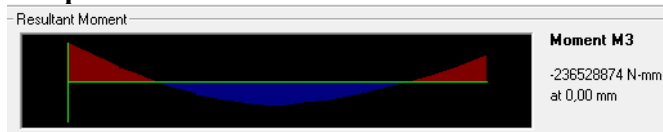
- Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.  
= 1,2 DL + 1,6 LL

### Hasil Output Diagram Torsi



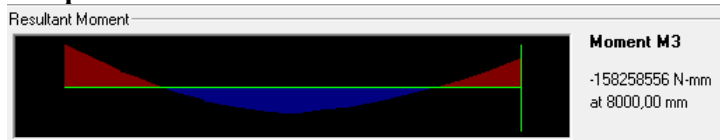
$T_u = 50450195,44 \text{ Nmm}$

### Hasil Output Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri



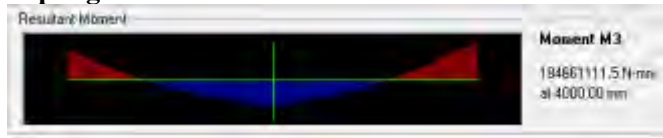
$M_u = 236528874 \text{ Nmm}$

### Tumpuan Kanan



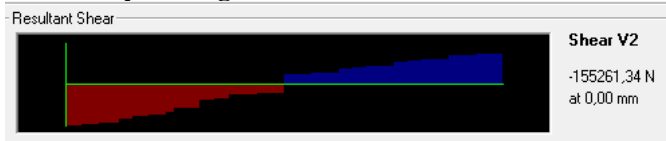
$M_u = 158258556 \text{ Nmm}$

### Lapangan



$M_u = 184661111,5 \text{ Nmm}$

Hasil Output Diagram Momen Geser

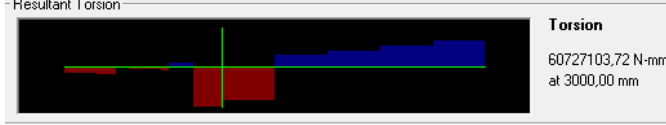


$V_u = 155261,34 \text{ N}$

Kombinasi Beban Gempa :

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.  
 $= (1,2 + 0,2 S_d)DL + 1,0 LL + 1,3 EQX + 0,39 EQY$

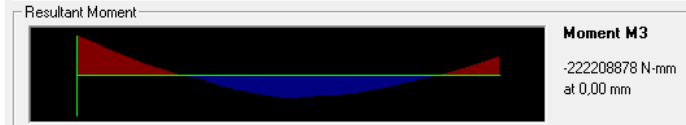
Hasil Output Diagram Torsi



$T_u = 60727103 \text{ Nmm}$

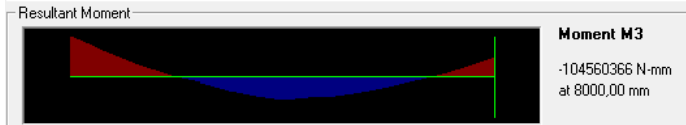
Hasil Output Diagram Momen Lentur

Tumpuan Kiri



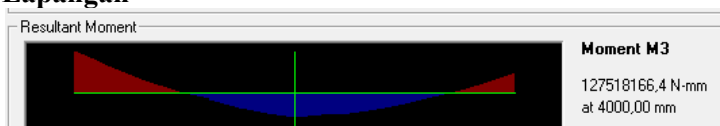
$M_u = 222208878 \text{ Nmm}$

Tumpuan Kiri



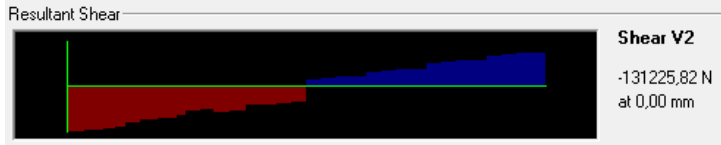
$M_u = 104560366 \text{ Nmm}$

Lapangan



$M_u = 127518166,4 \text{ Nmm}$

### Hasil Output Diagram Momen Geser

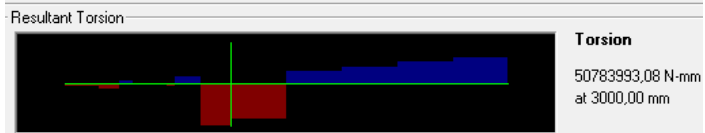


$$V_u = 131225,8 \text{ N}$$

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y.

$$=(1,2+0,2 S_d)DL + 1,0 LL + 0,39 EQX + 1,3 EQY$$

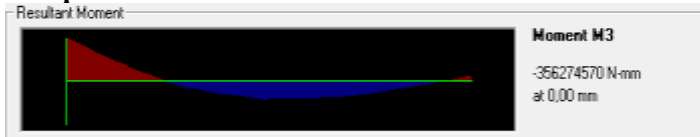
### Hasil Output Diagram Torsi



$$T_u = 50783993,08 \text{ Nmm}$$

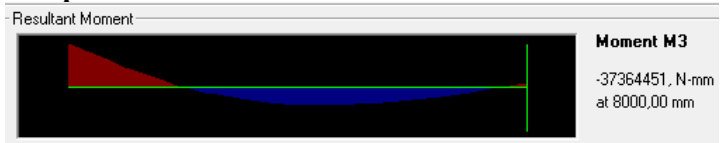
### Hasil Output Diagram Momen Lentur

#### Tumpuan Kiri



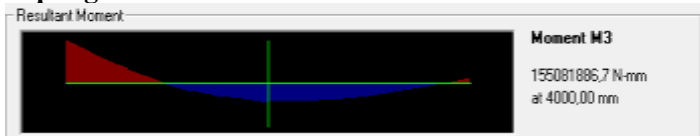
$$\text{Momen torsi} = 356274570 \text{ Nmm}$$

#### Tumpuan Kanan



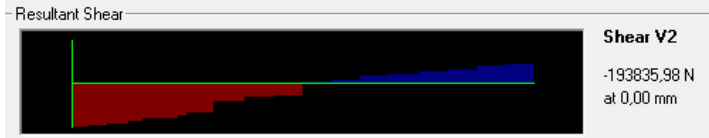
$$M_u = 37364451 \text{ Nmm}$$

### Lapangan



$M_u = 155081887 \text{ Nmm}$

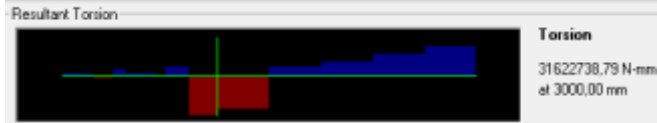
Hasil Output Diagram Momen Geser



$V_u = 193835,98 \text{ N}$

- Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.  
 $=(1,2+0,2 S_d s)DL + 1,0 LL - 1,3 EQX - 0,39 EQY$

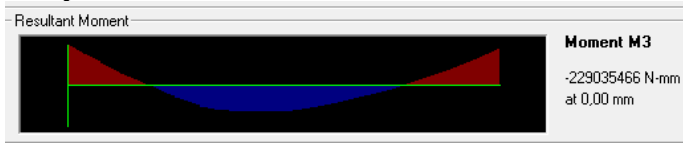
Hasil Output Diagram Torsi



$T_u = 31622738,79 \text{ Nmm}$

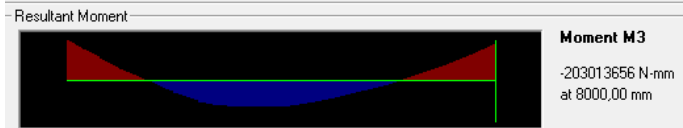
Hasil Output Diagram Momen Lentur

Tumpuan Kiri



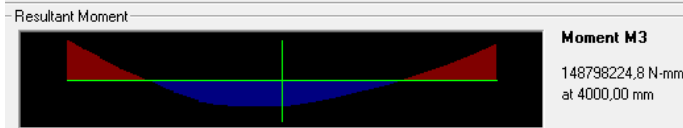
$M_u = 229035466 \text{ Nmm}$

Tumpuan Kanan



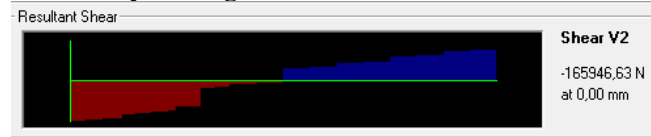
$M_u = 203013656 \text{ Nmm}$

Lapangan



$M_u = 148798224,8 \text{ Nmm}$

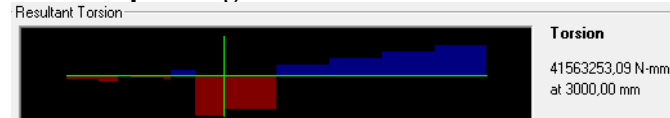
### Hasil Output Diagram Momen Geser



$V_u = 165946,63 \text{ N}$

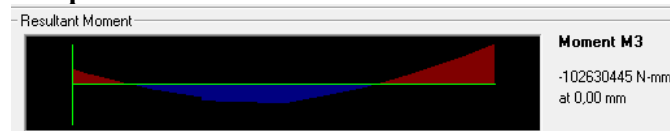
- Pembabanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y.  
 $= (1,2 + 0,2 S_d) DL + 1,0 LL - 0,39 EQX - 1,3 EQY$

### Hasil Output Diagram Torsi



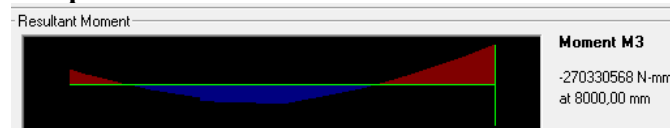
$T_u = 41563253,09 \text{ Nmm}$

### Hasil Output Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri



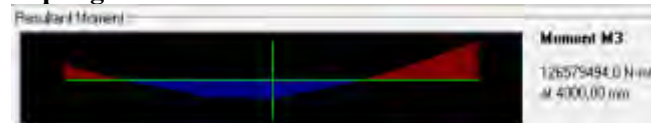
$M_u = 102630445 \text{ Nmm}$

### Tumpuan Kanan



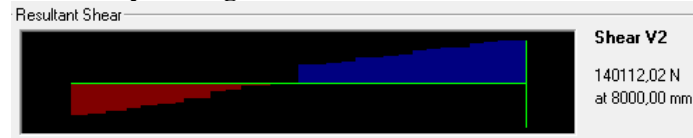
$M_u = 270330568 \text{ Nmm}$

### Lapangan



$M_u = 126579494 \text{ Nmm}$

### Hasil Output Diagram Momen Geser



$$V_u = 140112.02 \text{ N}$$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan beban gempa.

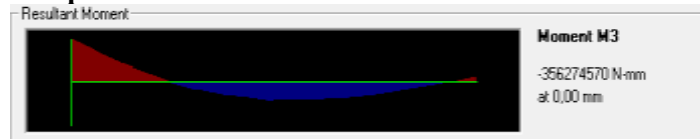
### Hasil Output Diagram Torsi

Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+1,3 EQX+0,39 EQY

$$\text{Momen torsi} = 60727103 \text{ Nmm}$$

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

**Tumpuan kiri :**

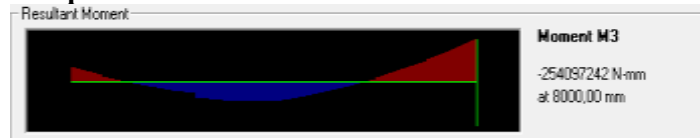


Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

$$\text{Momen torsi} = 356274570 \text{ Nmm}$$

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

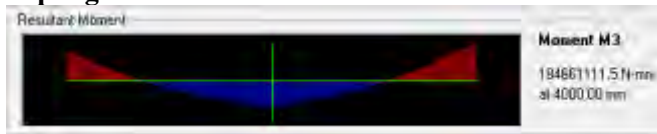
**Tumpuan kanan :**



Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

$$M_u = 254097242 \text{ Nmm}$$

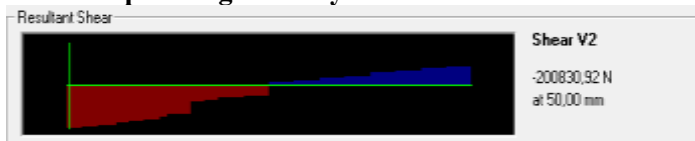
### Hasil Output Diagram Momen Lentur Lapangan :



Kombinasi (1,2DL+1,6LL)

Mu = 184661111,5 Nmm

### Hasil Output Diagram Gaya Geser



Kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Vu = 200830,92 N

Berdasar SNI 03-2847-2012 ps 21.3.4.2 Vu diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom.

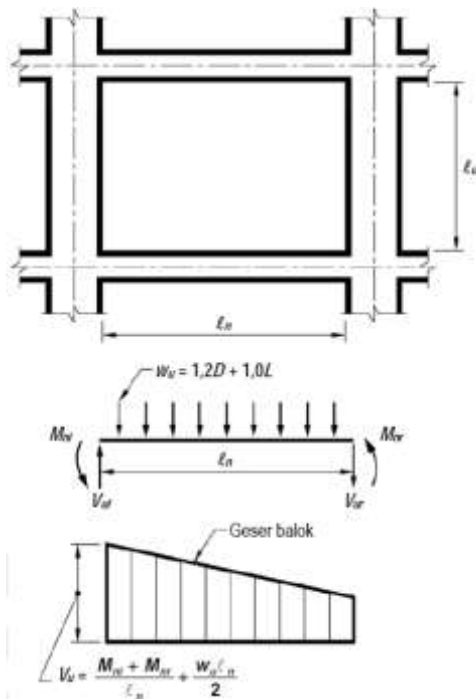
c. Syarat Gaya aksial pada balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{450 \times 650 \times 30}{10} = 877500N$$

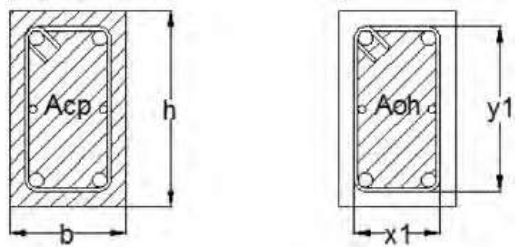
Berdasarkan analisa struktur, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D+1L+R<sub>sy</sub>+0,3R<sub>sy</sub> pada komponen struktur sebesar 67463,94 N < 877500 N.

*Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).*



Gambar 4. 63 Gaya lintang Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar 4. 64 Luasan Acp dan Pcp



*Luasan yang diatasi oleh keliling luar irisan penampang beton*

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Parameter luas irisan penampang beton Acp*

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) \\ &= (400 - 2.50) - 2.20 \times (600 - (2.50) - 2.10) \\ &= 134400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang*

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - 2\phi_{\text{geser}})) \\ &= 2 \times ((400 - 2.50) - 2.10) + (600 - (2.50) - 2.10)) \\ &= 1520 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.5.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi

(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+1,3 EQX+0,39 EQY

Tu = 58103846,29 Nmm

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{58103846,29}{0,75} \\ &= 77471795,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 Tu_{min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{240000^2}{2000} \\
 &= 9662842,75 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 Tu_{max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times \frac{240000^2}{2000} \\
 &= 38418531,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

Tumin > Tu → tidak memerlukan tulangan puntir

Tumin < Tu → memerlukan tulangan puntir

Tumin < Tu

9662842,75 Nmm < 58103846,29 Nmm (memerlukan tulangan puntir)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

#### Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan

berikut :

$$\sqrt{\left( \frac{Vu}{Bw \cdot d} \right)^2 + \left( \frac{Tu \cdot Ph}{1,7 Aoh} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{Vu}{Bw \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right)$$

1,286 ≤ 3,368 (memenuhi)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

### Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang  $\emptyset = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 134400 \\ &= 114240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset} \\ &= \frac{77471795,1}{2 \times 114240 \times 400 \times \cot 45} \\ &= 1,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_L &= \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset \\ A_L &= 1,37 \times 1520 \times \left( \frac{400}{400} \right) \cot^2 45 \\ &= 795,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{l \min} = \frac{0,42\sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{240}{400} = 0,175$$

$$A_{l \min} = \frac{0,42\sqrt{29,05} \times 240000}{400} - (0,175) 1520 \frac{240}{400}$$

$$A_{l \min} = 1092,23 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \leq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_{l \min}$

$A_l \text{ perlu} \geq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_l \text{ perlu}$

$795,47 \text{ mm}^2 \leq 1092,23 \text{ mm}^2$  (maka gunakan  $A_{l \min}$ )

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar  $1092,2 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1092,23}{4} = 273,06 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi samping (kanan dan kiri) balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $546,12 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi samping)

$$n = \frac{As}{Luasan D puntir}$$

$$n = \frac{546,12 \text{ mm}^2}{132,79 \text{ mm}^2}$$

$$n = 4,11 \approx 6$$

Dipasang tulangan puntir 6D13

Kontrol luasan tulangan pasang puntir

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times Luasan D \text{ puntir} \\ &= 6 \times 0,25 \pi 13^2 \\ &= 796,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &\geq As \text{ perlu} \\ 796,4 \text{ mm}^2 &\geq 546,12 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

*Sehingga dipasang tulangan puntir sisi samping (kanan dan kiri) di tumpuan dan lapangan sebesar 6D13.*

#### 4.5.2.2 **Perhitungan Penulangan Lentur** **DAERAH TUMPUAN KANAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL-0,39 EQX-1,3 EQY

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 505,5 \\ &= 303,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times X \\
 &= 0,75 \times 303,3 \\
 &= 227,475 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 600 - 505,5 \\
 &= 94,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 101 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 29,05 \times 400 \times 0,85 \times 101 \\
 &= 847940,45 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{847940,45}{400} \\
 &= 2119,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2119,85 \times 400 \times \left( 505,5 - \frac{0,85 \times 101}{2} \right) \\
 &= 392236053,66 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\mu_{tumpuan} = 254097242 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{\mu_u}{\phi} \\
 &= \frac{254097242}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 282330268,9 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 282330268,9 - 392236053,66 \\ &= -109905784,77 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$

$$M_{ns} = -109905784,77 \text{ Nmm} \leq 0$$

( tidak perlu tulangan lentur tekan)

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal*

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29,05 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{254097242,0}{0,9} = 282330268,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{282330268,9}{400 \times 505,5^2} = 2,762200061$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{16,20} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 2,76}{400}} \right] \\
 &= 0,0073
 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0073 < 0,0236$  (Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0073 \times 400 \times 505,5 \\
 &= 1484,58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 A_{s\text{perlu}} &= 1484,58 + \frac{1092,23}{4} \\
 A_{s\text{perlu}} &= 1757,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan Dlentur}} \\
 n &= \frac{1757,64 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2} \\
 n &= 4,622 \approx 7 \text{ Dipasang tulangan lentur 7D22}
 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 2 lapis :

Untuk serat terluar direncanakan = 5 buah

Untuk serat dalam direncanakan = 2 buah



Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 7 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 2662,00 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$3041,06 \text{ mm}^2 > 2634,11 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}\text{As}' &= 0,3 \text{ As} \\ &= 0,3 \times 2662,00 \text{ mm}^2 \\ &= 798,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ n &= \frac{798,6 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}\end{aligned}$$

$$n = 2,1 \approx 3 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 3D22}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1140,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1140,86 \text{ mm}^2 > 798,6 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 7 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$= 42,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1}$$

$$= 107 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$107 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S_{max} \leq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-)

*[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 7 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 2662,00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1140,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1140,86 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 2662,00 \text{ mm}^2$$

$$1140,86 \text{ mm}^2 \geq 887,33 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Kemampuan Penampang**

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{2662 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 107,81$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 2662. \times 400 \times \left(505,5 - \frac{107,81}{2}\right) \\
 &= 480860478,16 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :  $\theta M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

480860478,16 Nmm > 282330268,9 Nmm  
(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (40/60) As 2 (A-B) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 7D22 dan tulangan tekan 3D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 2 lapis
  - Lapis 1 (Serat Luar) : 5D22
  - Lapis 2 (Serat Dalam) : 2D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis
  - Lapis 1 : 3D22

### **DAREAH TUMPUAN KIRI**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY  
Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left(\frac{600}{600+F_y}\right) x d \\
 &= \left(\frac{600}{600+400}\right) x 505,5 \\
 &= 303,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 \times X \\
 &= 0,75 \times 303,3 \\
 &= 227,475 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 600 - 505,5 \\
 &= 94,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 101 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 29,05 \times 400 \times 0,85 \times 101 \\
 &= 847940,45 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{847940,45}{400} \\
 &= 2119,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2119,85 \times 400 \times \left( 505,5 - \frac{0,85 \times 101}{2} \right) \\
 &= 392236053,66 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\mu_{tumpuan} = 356274570,00 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 Mn &= \frac{356274570,00}{0,9} \\
 Mn &= 392236053,66 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 392236053,66 - 392236053,66 \\
 &= 3624579,67 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $Mns \geq 0$

$$Mns = 3624579,67 \text{ Nmm} \geq 0$$

( perlu tulangan lentur tekan)

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tekan*

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

$$Cs' = T^2 = \frac{Mn - Mnc}{d - d'} = \frac{3624579,67}{505,5 - 94,5} = 8818,93 \text{ N}$$

Kontrol tulangan tekan leleh

$$fs' = \left(1 - \frac{d'}{X}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{94,5}{101}\right) \times 600 = 38,61 \text{ Mpa}$$

$$fs' \geq fy \quad \text{Maka Leleh } fs' = fy$$

$$fs' < fy \quad \text{Maka Tidak Leleh } fs' = fs'$$

Karena :

$$fs' < fy$$

$$\begin{aligned}
 38,61 &< 400 \quad \text{Maka Tidak Leleh } fs' = \\
 38,61 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$As' = \frac{Cs'}{fs' - 0,85fc'} = \frac{8818,93}{38,61 - (0,85 \times 29,05)} \\ = 633,48 \text{ mm}^2$$

$$Ass = \frac{T_z}{fy} = \frac{8818,93}{400} = 22,04 \text{ mm}^2$$

Tulangan perlu :

$$As = Asc + Ass = 2119,85 + 22,04 = 2141,9 \text{ mm}^2$$

$$As' = As' = 633,48 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$Asperlu = As + \frac{Al}{4}$$

$$Asperlu = 2141,9 \text{ mm}^2 + 273,06 \text{ mm}^2$$

$$Asperlu = 2414,96 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{2414,96 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 6,35 \approx 7 \text{ Dipasang tulangan lentur 7D22}$$

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ = 7 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ = 2662 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$\begin{array}{ll} As \text{ pasang} & > As \text{ perlu} \\ 2662 \text{ mm}^2 & > 2414,96 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 633,48 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{633,48}{380,286}$$

$$n = 1,67 \approx 3 \text{ buah} \quad \text{Dipasang tulangan lentur 3D22}$$

Kontrol Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1140,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 1140,86 \text{ mm}^2 &> 633,48 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 7 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$



$$S_{max} = \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$= 42,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1}$$

$$= 107 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$107 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S_{max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

*[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasannya D lentur} \\ &= 7 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 2662,00 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasannya D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22 \\ &= 1140,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 1140,86 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 2662,00 \text{ mm}^2 \\ 1140,86 \text{ mm}^2 &\geq 887,33 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

#### Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left( \frac{(As \cdot Fy) - (As' \cdot fs')}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(2662 \times 400) - (1140,86 \times 38,6)}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 103,35 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2662 \times 400 \times \left( 505,5 - \frac{103,35}{2} \right) \\ &= 483235061,91 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek : } \theta Mn \text{ pasang} &> Mn \text{ perlu} \\ 483235061,91 \text{ Nmm} &> 392236053,66 \text{ Nmm} \\ &(\text{Memenuhi})\end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (40/60) As 2 (A-B) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 7D22 dan tulangan tekan 3D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 2 lapis  
     Lapis 1 (Serat Luar) : 5D22  
     Lapis 2 (Serat Dalam) : 2D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis  
     Lapis 1 : 3D22

### **DAERAH LAPANGAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
 (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\
 &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 529 \\
 &= 317,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 x X \\
 &= 0,75 x 317,4 \\
 &= 238,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 600 - 529 \\
 &= 71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 101 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 x 29,05 x 400 x 0,85 x 101 \\
 &= 847940,45 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{847940,45}{400} \\
 &= 2119,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2119,85 \times 400 \times \left( 529 - \frac{0,85 \times 101}{2} \right) \\
 &= 412162654,23 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu \text{ lapangan} = 184661111,5 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{184661111,5 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$Mn = 205179012,78 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 205179012,78 - 412162654,23 \\
 &= -206983641,46 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $Mns \leq 0$

$$Mns = -239849446,79 \text{ Nmm} \leq 0$$

( tidak perlu tulangan lentur tekan)

*Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal*

## ✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29,05 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{184661111,5 \text{ Nmm}}{0,9} = 205179012,78 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{172313207,44}{400 \times 529^2} = 1,539$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{16,20} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 1,539}{400}} \right] \\ &= 0,0048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\ 0,0035 &< 0,0048 < 0,0236 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0048 \times 400 \times 529 \\ &= 1008,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As_{perlu} = 1008,59 + \frac{1092,23}{4}$$

$$As_{perlu} = 1281,65 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan D_{lentur}}$$

$$n = \frac{1281,65 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 3,372 \approx 3 \text{ Dipasang tulangan lentur 4D22}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 1 lapis :

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As_{pasang} > As_{perlu}$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1281,65 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan pasang ( $As'$ ) Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 1281,65 \text{ mm}^2 \\ &= 456,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As_{perlu} + AL}{Luasan D_{lentur}}$$

$$n = \frac{729,22 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,92 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2D22}$$

### Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$760,57 \text{ mm}^2 > 342,26 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 1 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 1D22

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ S_{max} &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{4 - 1} \\ &= 107 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$107 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 236 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$236 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ( $S_{max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis*

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut.  $M \text{ lentur Lapangan } (+) \geq 1/5 \times M \text{ lentur tumpuan } (-)$

***[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]***

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang tumpuan} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 7 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 2662,00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang lapangan} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M \text{ lentur tumpuan } (+) \geq 1/5 M \text{ lentur tumpuan } (-)$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 1/5 \times 2662,00 \text{ mm}^2$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 532,4 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$



### Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1140,86 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 46,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2662 \cdot 400 \times \left( 505,5 - \frac{46,2}{2} \right) \\ &= 230863263,34 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek :  $\theta Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$230863263,34 \text{ Nmm} > 172313207,44 \text{ Nmm}$   
(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (40/60) As 2 (A-B) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 4 D22 dan tulangan tekan 2 D22 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis  
Lapis 1 : 4D22
- Tulangan Tekan 1 Lapis  
Lapis 1 : 2D22

### **4.5.2.3 Perhitungan Penulangan Geser**

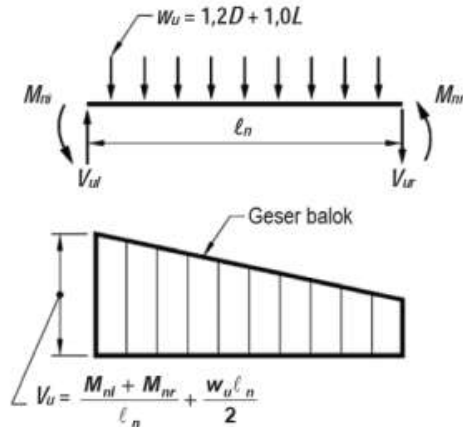
Tipe balok	: BS (40/60)
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 29,05 MPa
Kuat leleh tul. geser (fyv)	: 240 MPa
Diameter tul. geser (Ø geser)	: 10 mm

$\beta_1$  : 0,85

Faktor reduksi geser ( $\phi$ ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BS (40/60) As 10 (C-D), diperoleh :

Momen Tulangan Terpasang



**Gambar 4. 65 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMM**

#### Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 7 D22 = 2662 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 3 D22 = 1140,86 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{As \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{2662 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 107,81 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_l \text{ pasang} &= As \cdot F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2662 \times 400 \times \left( 529 - \frac{107,81}{2} \right) \\ &= 480860478,16 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

### Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pakai tulangan tarik 7 D22 = 2662 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 3 D22 = 1140,86 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1140,86 \times 400}{0,85 \times 29,05 \times 400} \right)$$

$$a = 46,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_l \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1140,86 \times 400 \times \left( 529 - \frac{46,20}{2} \right) \\ &= 2201392016,19 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi (1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX-+1,3 EQY didapatkan :

Gaya geser terfaktor Vu = 200830,9 N

### Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak  $\frac{1}{4}$  bentan
- Wilayah 2 (daerah lapangan) , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)**

### Syarat kuat tekan beton (fc')

nilai  $\sqrt{f'c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa

$$\sqrt{f'c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,478 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi)}$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.2)**

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{29,05} \times 400 \times 529$$

$$V_c = 193882,07 \text{ N}$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)**Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s \min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 400 \times 529$$

$$= 69828 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{29,05} \times 400 \times 529$$

$$= 376359,317 \text{ N}$$

$$2V_{s \max} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{29,05} \times 400 \times 529$$

$$= 752718,634$$

Penulangan Geser Balok

Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4)**

Dimana :

- $V_{u1}$  = Gaya geser pada muka perletaka
- $M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)
- $M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)
- $l_n$  = Panjang bersih balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{480860478,1 + 220139206}{7500} + 200830$$

$$V_{u1} = 294297,5 \text{ N}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c$$

$$294297,5 \text{ N} \leq 72705,78 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c$$

$$72705,78 \leq 294297,5 \text{ N} \leq 145411,55 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min})$$

$$145411,55 \text{ N} \leq 294297,5 \text{ N} \leq 197782,554 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max})$$

$$197782,554 \text{ N} \leq 294297,5 \text{ N} \leq 427681 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \text{ max})$$

$$427681 \text{ N} \leq 294297,5 \text{ N} \leq 709950,53 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{294297,5 \text{ N} - 0,75 \times 193882,072}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 198514,7 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157,14 \times 240 \times 529}{198514,7 \text{ N}}$$

$$S_{perlu} = 167,5 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 125 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$125 \text{ mm} < \frac{529}{2} = 264,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø 10-125

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a)  $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)**

$$\begin{aligned}
 \text{a) } S_{\text{pakai}} &< \frac{d}{4} \\
 125\text{mm} &< \frac{529}{4} \\
 125\text{mm} &< 132 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } S_{\text{pakai}} &< 8 \times D \text{ lentur} \\
 125\text{mm} &< 8 \times 22 \\
 125\text{mm} &< 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } S_{\text{pakai}} &< 24 \times D \text{ sengkang} \\
 125\text{mm} &< 8 \times 10 \\
 125\text{mm} &< 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d) } S_{\text{pakai}} &< 300 \text{ mm} \\
 125\text{mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

***Jadi penulangan geser balok sloof BS (40/60) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø 10-125 dengan sengkang 2 kaki***

Pada Wilayah Lapangan

Gaya geser diperoleh dari metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} &= \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln} \\
 Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} \\
 Vu_2 &= \frac{294297,5 \times (\frac{1}{2} \times 7500 - 2 \times 600)}{\frac{1}{2} \times 7500} \\
 Vu_2 &= 200122,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1 (Tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c$$

$$200122,3 \text{ N} \leq 72705,78 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2 (Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c$$

$$72705,78 \leq 200122,3 \text{ N} \leq 145411,55 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3 (Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min})$$

$$145411,55 \text{ N} \leq 200122,3 \text{ N} \leq 197782,554 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max})$$

$$197782,554 \text{ N} \leq 200122,3 \text{ N} \leq 427681 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Kondisi 5 (Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ max}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_s \text{ max})$$

$$427681 \text{ N} \leq 200122,3 \text{ N} \leq 709950,53 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{200122,33 \text{ N} - 0,75 \times 193882,072}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 72947,7 \text{ N}$$



Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = 157,14 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157,14 \times 240 \times 529}{72947,7 \text{ N}}$$

$$S_{perlu} = 227,82 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan dipasang jarak 200 mm

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$S_{max} < \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.4.5)

$$200 \text{ mm} < \frac{439}{2} = 219,5 \quad (\text{memenuhi})$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø 10-200

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok.

**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(3)**

$$\begin{array}{lll} \text{a) } S_{pakai} & < & \frac{d}{2} \\ 200\text{mm} & < & \frac{439}{2} \\ 200\text{mm} & < & 219,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

*Jadi penulangan geser balok induk BI (40/60) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø 10-200 dengan sengkang 2 kaki*

#### 4.5.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.***

##### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3.*** dan faktor modifikasi dari ***pasal 12.2.4.*** dan ***pasal 12.2.5.*** Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. ***[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]***

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$ld = \left[ \frac{fy}{1,1\lambda \times \sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{Db}} \right] d_b$$

Dimana,

$fc'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$fy$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan (1,3)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,5)

$\Psi_s$  = faktor ukuran tulangan (1,0)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan (1,0)

$db$  = diameter nominal tulangan (22)

$C_b$  = Yang lebih kecil :

e) Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$$C_b = \text{decking} + \text{senggang} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 50 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm})$$

$$C_b = 71 \text{ mm}$$

f) Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$$C_b = S_{\max} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur}) + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 25 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm})$$

$$C_b = 47 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = \text{Indek tulangan tranfersal (0)}$$

$$ld = \left[ \frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{29,05'}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 1,0}{\frac{47+0}{22}} \right] \times 22$$

$$ld = 1354,8 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$1354,8 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Reduksi dalam  $ld$  diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]**

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[ \frac{1644,03}{1901,43} \right] \times 1354,5 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 1171,4 \text{ mm}$$

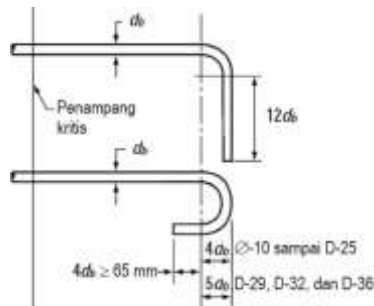
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1200 mm

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart  $ldh$  ditentukan dari **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.5.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari  $8d_b$  dan 150 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart



**Gambar 4. 66 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart**

- Perhitungan Penyaluran Kait:

$$\text{Untuk batang tulangan ulir } ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

Dimana,

$f_c'$  = kuat tekan beton (29,05 Mpa)

$f_y$  = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

$\Psi_e$  = faktor pelapis (1,2)

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan  $(1,0)d_b$  =  
diameter nominal tulangan (22)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1,2 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \times 22$$

$$ldh = 470 \text{ mm}$$

- Perhitungan Reduksi Penyaluran Kait:

Reduksi dalam  $ldh$  harus diizinkan untuk dikalikan faktor faktor sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3.**

Untuk kait 90 derajat dikalikan 0,8

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3 (b)]**

$$ldh_{reduksi} = ldh \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 470 \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 376 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$8 d_b = 176 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 400 mm

Panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan  $ldc$  dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.3.3.**

Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]**

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Untuk batang tulangan ulir  $ldc$  harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$e. \quad ldc = \left( \frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \right) d_b$$

$$ldc = \left( \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{29,05}} \right) \times 22$$

$$ldc = 392 \text{ mm}$$

$$f. \quad ldc = (0,043 fy) d_b$$

$$ldc = (0,043 \times 400) \times 22$$

$$ldc = 378 \text{ mm}$$

Maka ldc dipilih 392 mm

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :  
Reduksi dalam *l<sub>dc</sub>* diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.  
*[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]*

$$Reduksi\ l_{dc} = \left[ \frac{As\ perlu}{As\ pasang} \right]$$

$$Reduksi\ l_{dc} = \left[ \frac{570,43}{760,57} \right] \times 392\ mm$$

$$Reduksi\ l_{dc} = 294\ mm$$

Panjang kait

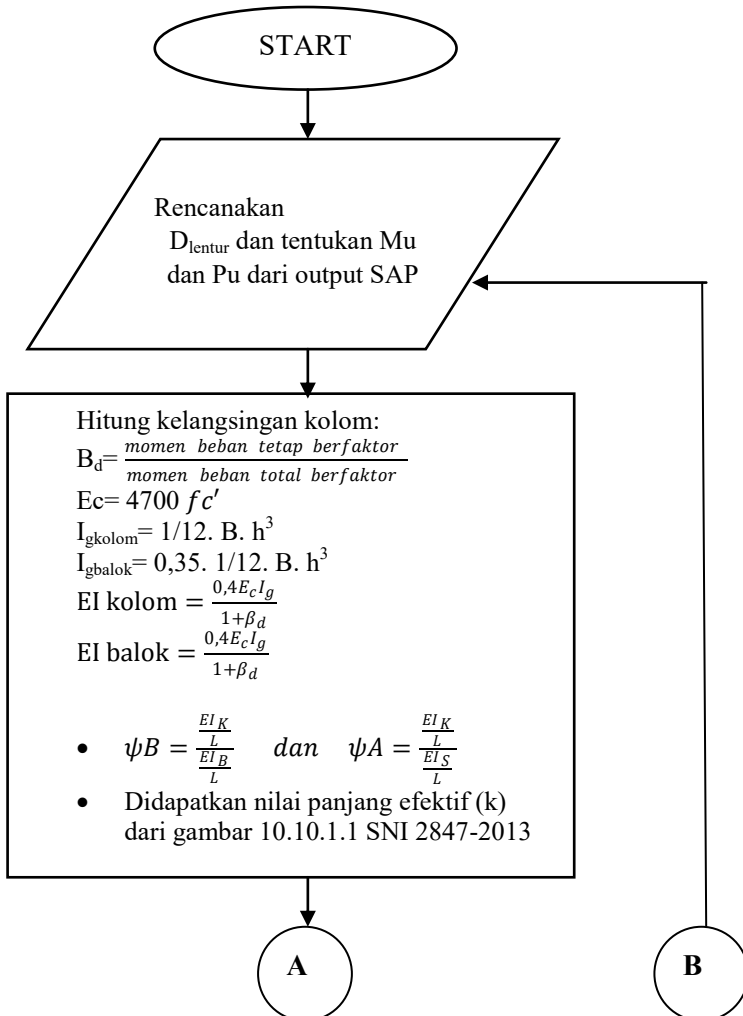
$$4\ d_b + 4\ d_b = 4(22) + 4(22) = 176\ mm$$

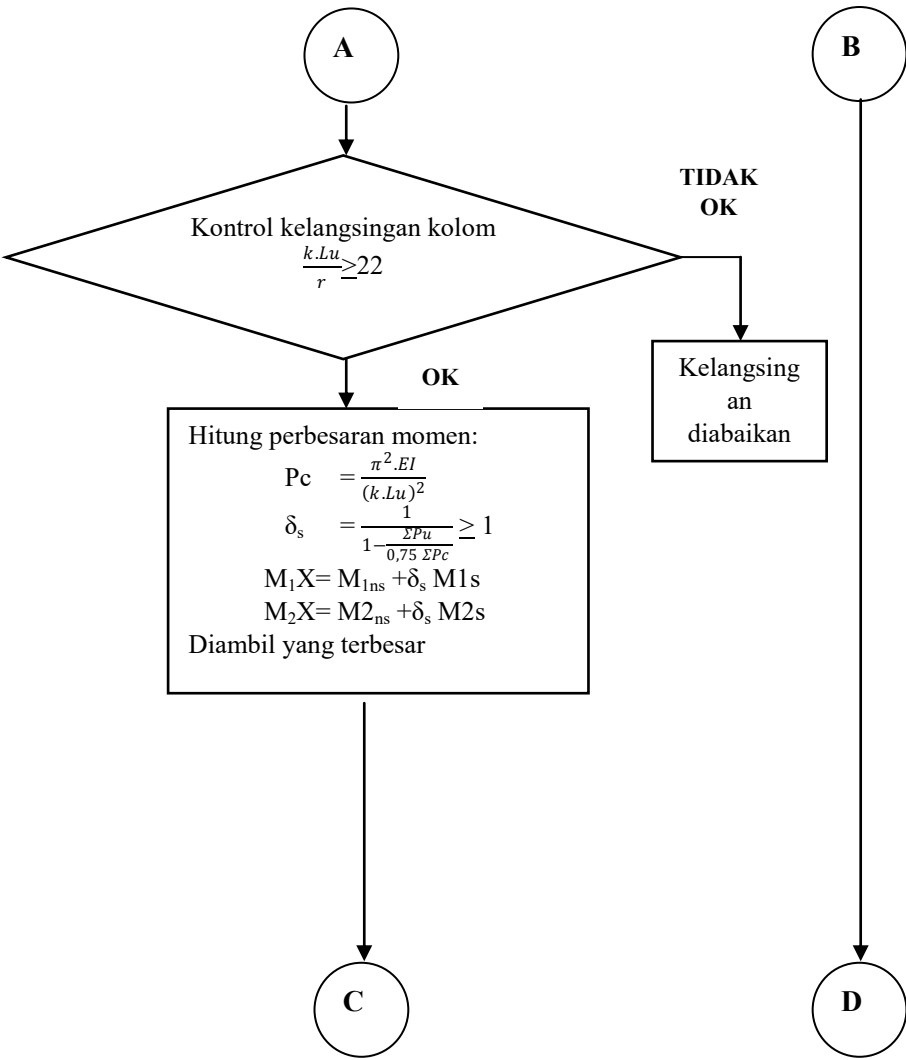
TIPE BALOK	BALOK INDUK (B1) 400x600		
BAGIAN	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
			
TULANGAN ATAS	7 D 22	2 D 22	7 D 22
TULANGAN BAWAH	3 D 22	3 D 22	3 D 22
SENGKANG	Ø10 - 125	Ø10 - 250	Ø10 - 125
TULANGAN PUNTIR	6 D 13		

Gambar 4. 67 Detail Penulangan Balok induk

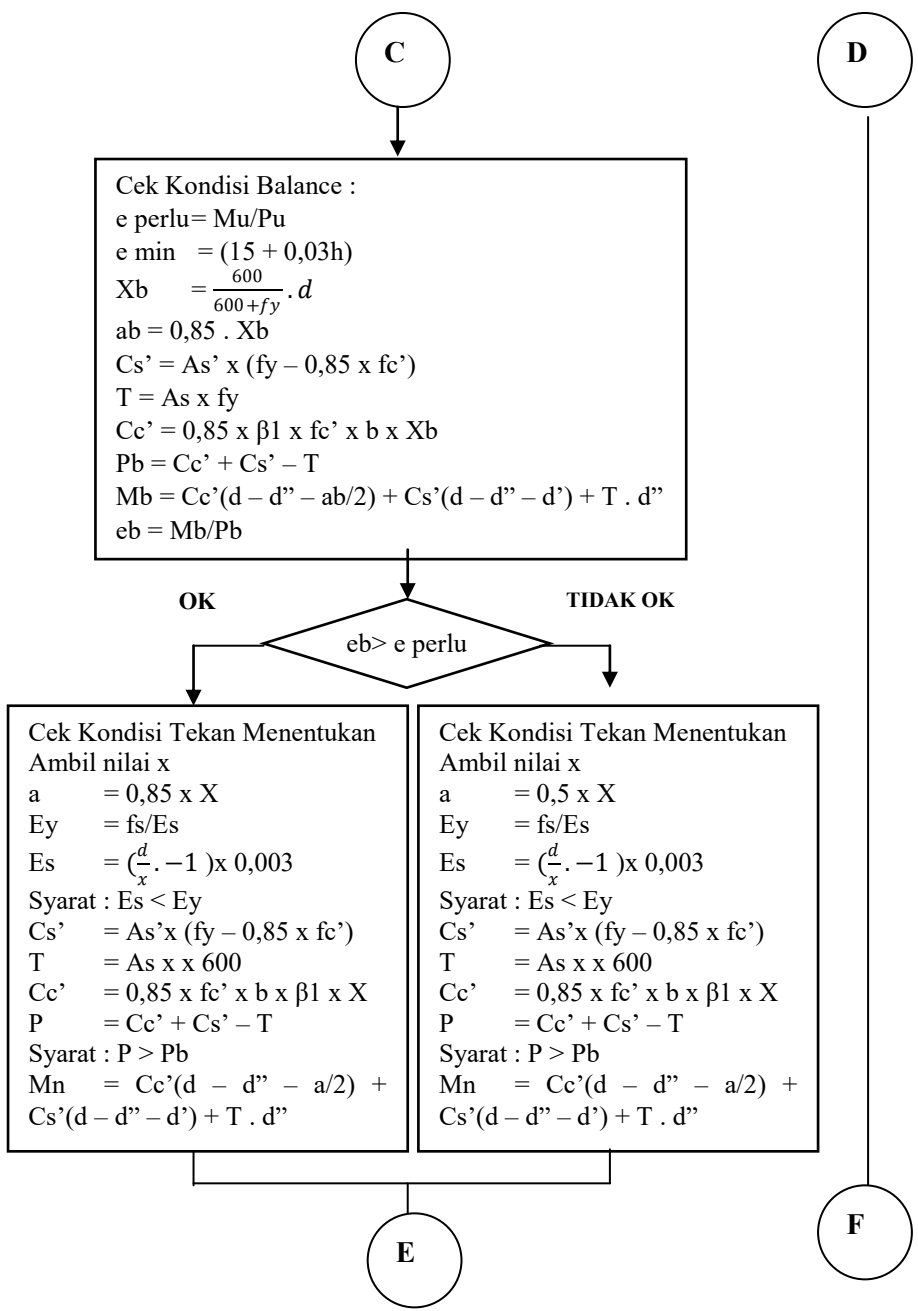
### 4.5.3 Perhitungan Penulangan Kolom

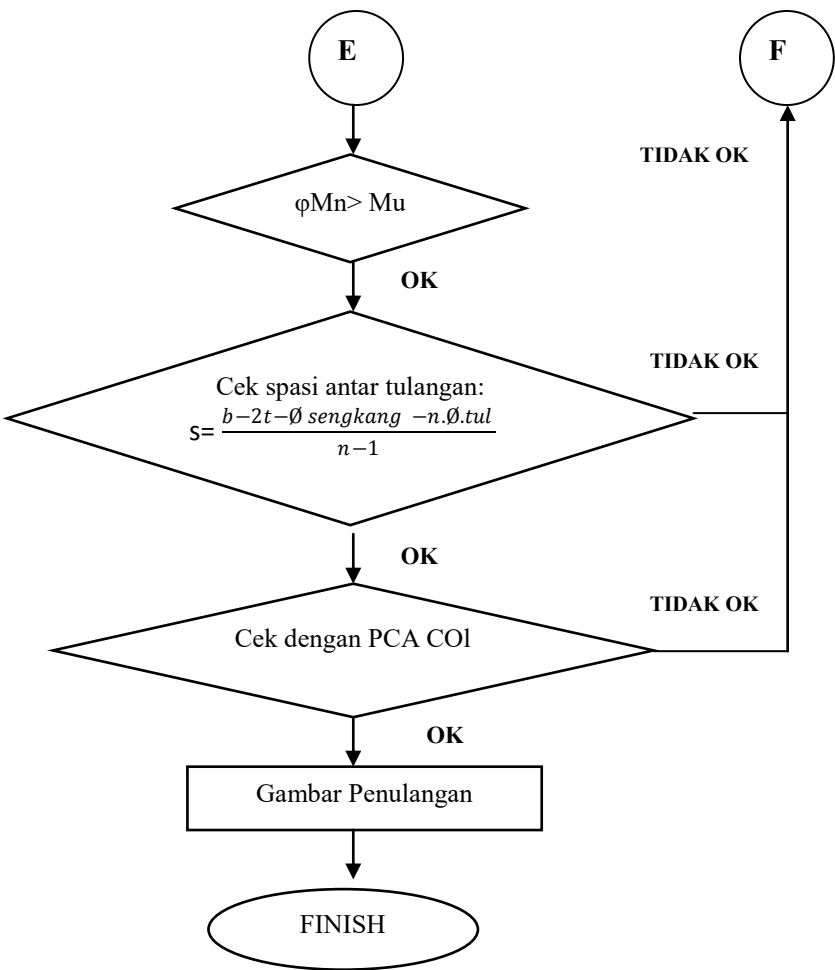
#### ➤ Flowchart Penulangan Lentur





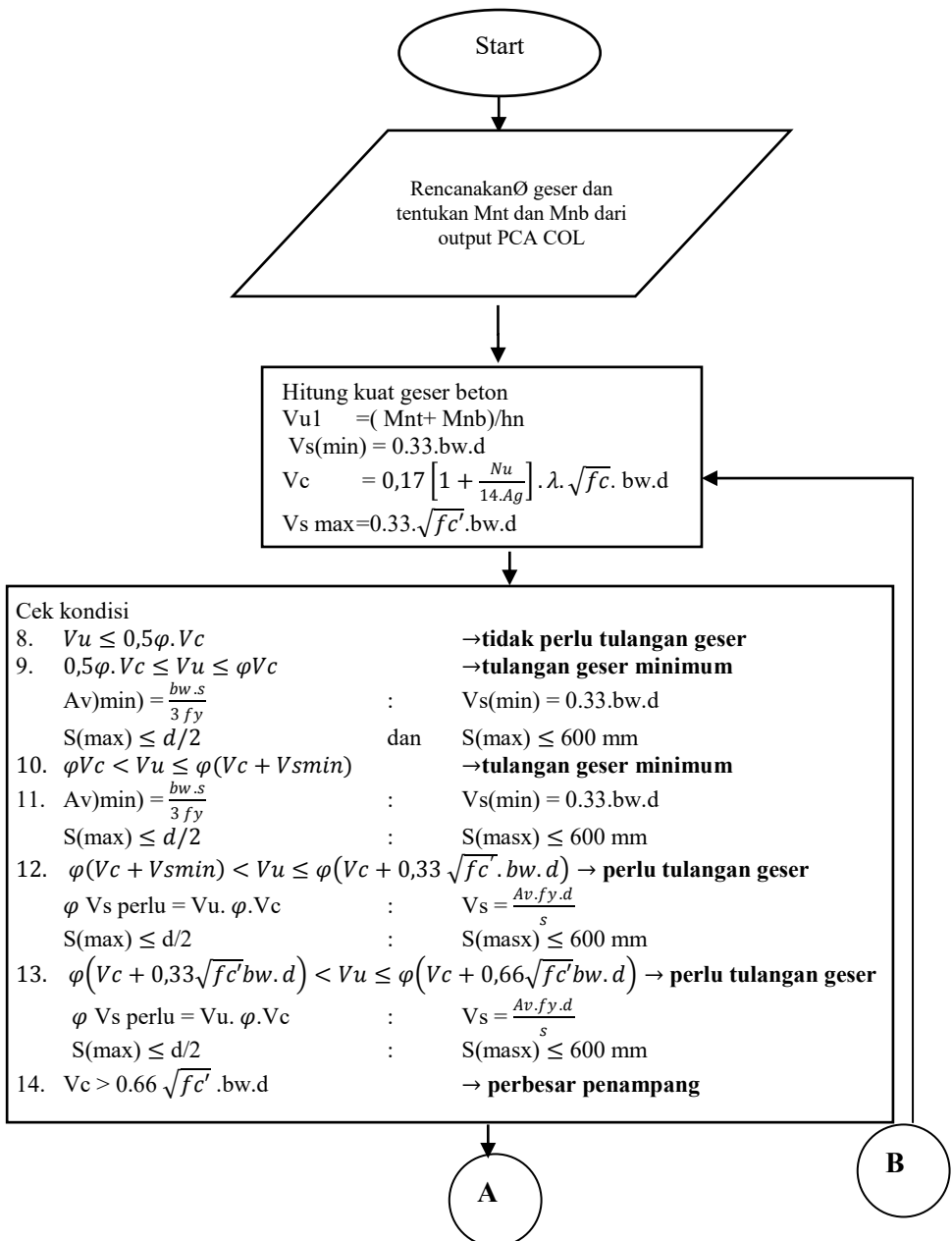


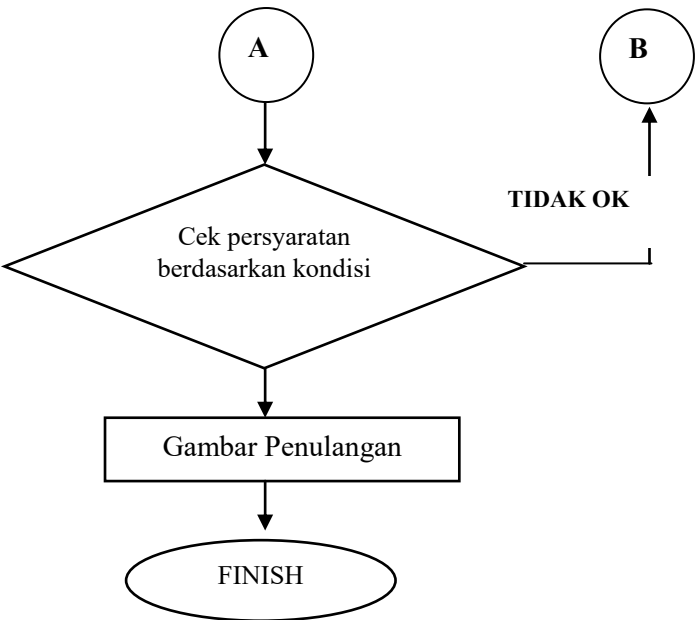




Gambar 4. 68 Flowchart Penulangan Kolom

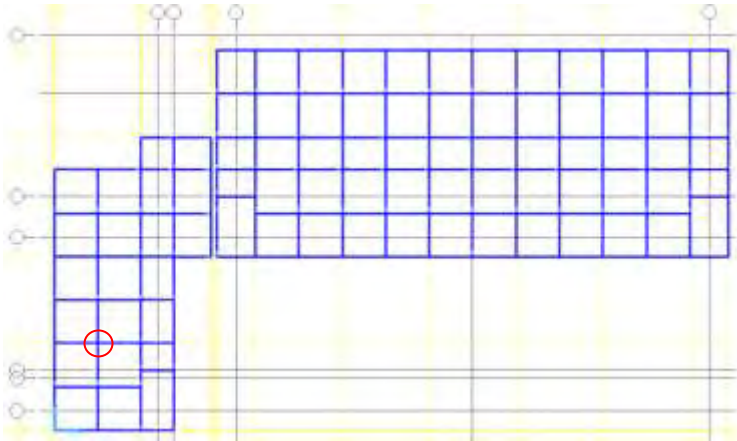
➤ Flowchart Penulangan Geser





**Gambar 4. 69 Flowchart Penulangan Geser Kolom**

Kolom merupakan komponen utama struktur yang menahan beban aksial dan momen. Karenanya dalam perhitungan penulangan kolom dipilih kolom dengan aksial dan momen terbesar yaitu kolom AS- 2B pada lantai 1. Adapun data perencanaan, gambar denah kolom, hasil output dan diagram gaya dalam SAP 2000 ketentuan perhitungan penulangan kolom dengan metode SRPMM adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 70 Denah Kolom yang ditinjau**

#### 4.5.3.1 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom

##### Data Perencanaan :

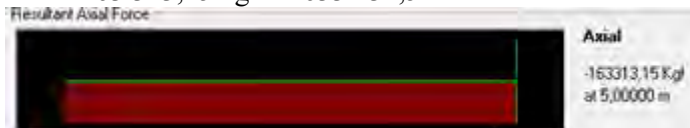
Tipe Kolom	:	
b kolom	:	500 mm
h kolom	:	500 mm
b balok	:	400 mm
h balok	:	600 mm
L kolom LT.1	:	5000 mm
L kolom LT.2	:	4000 mm
L balok memanjang1	:	8000 mm
L balok memanjang 2	:	3000 mm
L balok melintang	:	8000 mm
L sloof memanjang1	:	8000 mm
L sloof memanjang 2	:	3000 mm
L sloof melintang	:	8000 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	:	30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	:	400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_y$ geser)	:	240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	:	19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	:	10 mm
Tebal selimut beton (t decking)	:	40 mm
Faktor $\beta_1$	:	0,85
Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ )	:	0,65
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	:	0,75
Tinggi efektif kolom		
d	= b- decking- $\emptyset$ sengkang - $\frac{1}{2}$ D tul. Lentur	
	= 500 mm- 40 mm- 10 mm- $\frac{1}{2}$ 19 mm	
	= 440,5 mm	
d'	= decking + $\emptyset$ sengkang + $\frac{1}{2}$ D tul.lentur	
	= 40 mm+ 10 mm+ $\frac{1}{2}$ . 19 mm	
	= 59,5 mm	
d''	= b- decking- sengkang - $\frac{1}{2}$ D tul.lentur - $\frac{1}{2}$ b	
	= 500mm-40 mm-10mm- $\frac{1}{2}$ .19mm- $\frac{1}{2}$ .500mm	
	= 190,5 mm	

Berdasarkan hasil output SAP 2000, maka diperoleh gaya

aksial dan momen sebagai berikut

Gaya aksial akibat (1,4 D)

$$P_u = 163.313,15 \text{ kg} = 1.633.131,5 \text{ N}$$



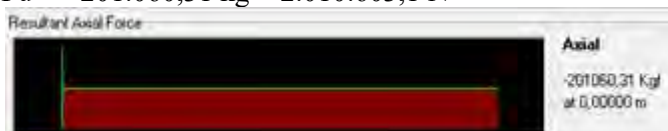
Gaya aksial akibat (1,2 D+ 1,6 L)

$$P_u = 193.570,69 \text{ kg} = 1.935.706,9 \text{ N}$$



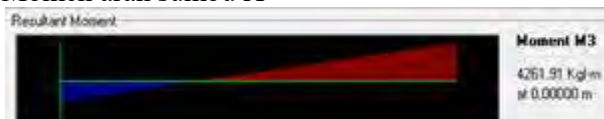
Gaya aksial terbesar (1,2D+1L+1,3Ex+0,39Ey)

$$P_u = 201.060,31 \text{ kg} = 2.010.603,1 \text{ N}$$

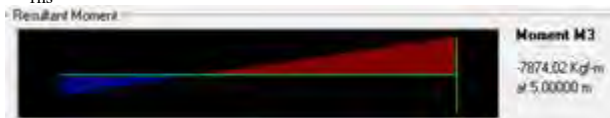


Momen akibat pengaruh beban gravitasi kombinasi  
1,2D+1,6L (Mns)

Momen arah sumbu X



$$M_{1ns} = 42.619.100 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = -78.740.200 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



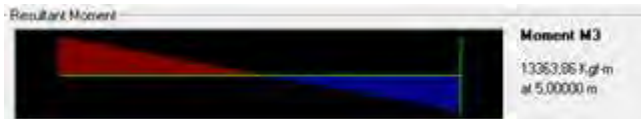
$$M_{1ns} = 2.793.700 \text{ Nmm}$$



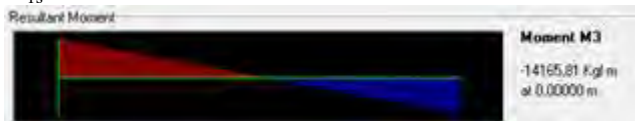
$$M_{2ns} = 3.286.900 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gempa terbesar kombinasi  
-0,39 Ex+1,3 Ey

Momen arah sumbu X

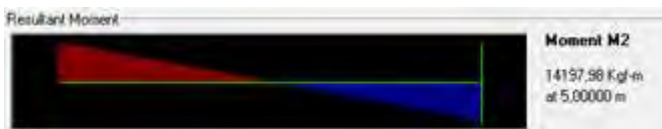


$$M_{1s} = 133.638.600 \text{ Nmm}$$

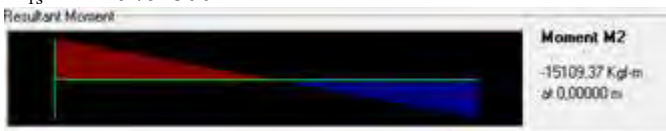


$$M_{2s} = -141.658.100 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{1s} = 141.979.800 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = -151.093.700 \text{ Nmm}$$

### ➤ Kontrol Kelangsingan Kolom

Menentukan  $\beta_d$  yaitu rasio beban aksial terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\beta_d = \frac{P_u(1,4D)}{P_u(1,2D+1,6L)}$$



$$= \frac{1.633.131,5 \text{ N}}{1.935.706,9 \text{ N}}$$

$$= 0,87$$

Menghitung panjang Tekuk kolom ( $\psi$ )

$$\Psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}}$$

$$EI_{kolom} = \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d}$$

$$\text{dengan } I_g = 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 1/12 \times 500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$= 5208333333 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30 \text{ Mpa}}$$

$$= 25742,96$$

$$\text{Jadi } EI_{klm} = \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \cdot 25742,96 \cdot 5208333333}{1+0,87}$$

$$= 2,868 \cdot 10^{13}$$

$$EI_{balok} = \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d}$$

$$\text{dengan } I_g = 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^3$$

$$= 2520000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30 \text{ Mpa}}$$

$$= 25742,96$$

$$\text{Jadi } EI_{blk} = \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \cdot 25742,96 \cdot 2520000000}{1+0,87}$$

$$= 1,388 \cdot 10^{13}$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k).

Kolom atas

$$\Psi_a = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(EI/L)klm \text{ lt.1} + (EI/L)klm \text{ lt.2}}{(EI/L)blk \text{ mem 1} + (EI/L)blk \text{ mem 2} + 2 \cdot (EI/L)blk \text{ mel}} \\
 &= \frac{\frac{2,86 \cdot 10^{13}}{5000 \text{ mm}} + \frac{2,86 \cdot 10^{13}}{4000 \text{ mm}}}{\frac{1,388 \cdot 10^{13}}{8000 \text{ mm}} + \frac{1,388 \cdot 10^{13}}{3000 \text{ mm}} + 2 \cdot \frac{1,388 \cdot 10^{13}}{8000 \text{ mm}}} \\
 &= 1,31
 \end{aligned}$$

Kolom bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi_b &= \frac{\Sigma(EI/L)kolom}{\Sigma(EI/L)balok} \\
 &= \frac{(EI/L)klm \text{ lt.1} + (EI/L)klm \text{ pendek}}{(EI/L)slf \text{ mem 1} + (EI/L)slf \text{ mem 2} + 2 \cdot (EI/L)slf \text{ mel}} \\
 &= \frac{\frac{2,86 \cdot 10^{13}}{5000 \text{ mm}} + \frac{2,86 \cdot 10^{13}}{1200 \text{ mm}}}{\frac{1,388 \cdot 10^{13}}{8000 \text{ mm}} + \frac{1,388 \cdot 10^{13}}{3000 \text{ mm}} + 2 \cdot \frac{1,388 \cdot 10^{13}}{8000 \text{ mm}}} \\
 &= 3,01
 \end{aligned}$$

Sehingga faktor panjang efektif (k) = 1,65

Menghitung radius girasi r

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{31250000000 \text{ mm}^4}{500 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm}}} \\
 &= 144,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kelangsingan

Jika nilai  $\frac{k \cdot Lu}{r} \leq 22$ , maka pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

Jika nilai  $\frac{k \cdot Lu}{r} \geq 22$ , maka kolom langsing

$$\begin{aligned}
 \frac{k \cdot Lu}{r} &= \frac{1,65 \cdot (5000 \text{ mm} - 600 \text{ mm})}{144,34 \text{ mm}} \\
 &= 50,299 > 22,
 \end{aligned}$$

Karena  $\frac{k \cdot Lu}{r} = 50,299 > 22$ , maka kolom termasuk kolom langsing

### ➤ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya momen dalam arah X pada kolom K-1 sebagai berikut:

Momen Akibat Beban Gravitasi kombinasi 1,2D+ 1,6L

$$M_{1ns} = 42.619.100 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = -78.740.200 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Beban gempa kombinasi

$$-0,39Ex-1,3 Ey$$

$$M_{1s} = 133.638.600 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = -141.658.100 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai Pc (P kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot Lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 2,868 \cdot 10^{13}}{(1,65 \cdot (5000 \text{ mm} - 600 \text{ mm}))^2} \\ &= 1.709.520,157 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 17 \times 1.709.520,157 \text{ N} \\ &= 29.061.842,66 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 2.010.603,1 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 17 \times 2.010.603,1 \text{ N} \\ &= 34.180.252,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{29.061.842,66 \text{ N}}{0,75 \times 34.180.252,7 \text{ N}}} \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

Pembesaran Momen

$$\begin{aligned} M_{1X} &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 42.619.100 \text{ Nmm} + (1,1 \times 133.638.600 \text{ Nmm}) \\ &= 189.837.867,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2X} &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= -78.740.200 \text{ Nmm} - (1,1 \times 141.658.100 \text{ Nmm}) \\ &= -234.793.397,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka diambil momen terbesar yaitu

$$M_{2X} = -234.793.397,4 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_2 X}{\phi} \\
 &= \frac{-234.793.397,4 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= -361.220.611,4 \text{ Nmm} \\
 P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\
 &= \frac{2.010.603,1 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 2.093.235,54 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

Sumbu Vertikal

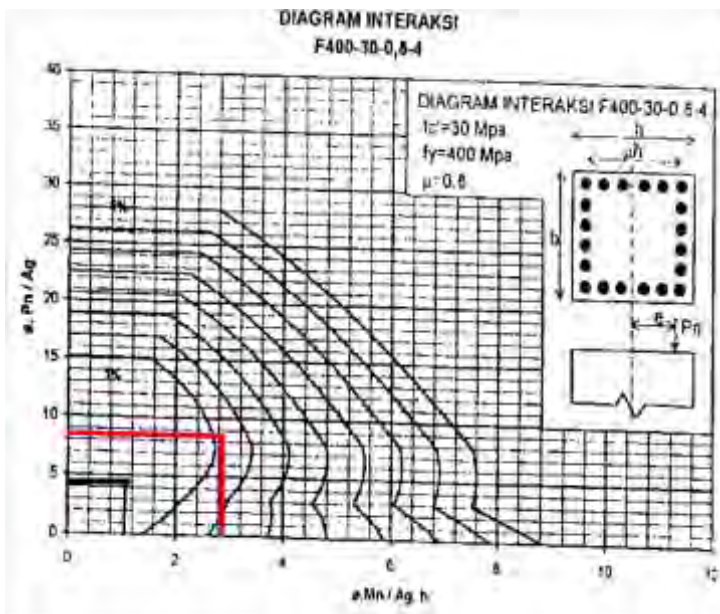
$$\frac{P_u}{bh} = \frac{2.010.603,1 \text{ N}}{500 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm}} = 8,04$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{234.793.397,4 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \cdot (500 \text{ mm})^2} = 2,88$$

$$\begin{aligned}
 \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Øgeser}) - D_{\text{lentur}} \\
 &= 500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - 19 \\
 &= 381 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} \\
 &= 0,762 \approx 0,8
 \end{aligned}$$



Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \%$

Jadi Luas Tulangan lentur kolom ( $A_s$ )

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,013 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 440,5 \text{ mm} \\ &= 3400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang ( $n$ )

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{3400}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2} = 11,89 \approx 12 \text{ tulangan}$$

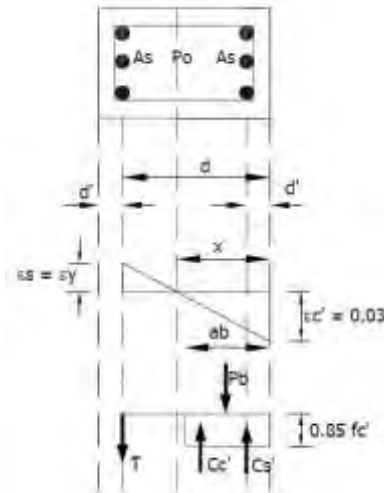
$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 12 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 3402,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari  $e_{\text{min}}$  dan  $e_{\text{perlu}}$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= (15 + 0,03 \cdot h) \\ &= (15 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{P_u} = \frac{361.220.611,4 \text{ Nmm}}{2.093.235,54 \text{ N}} = 116,77 \text{ mm}$$

### Cek Kondisi Balance



Syarat :  $\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = 59,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 190,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$= \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} 440,5 \text{ mm}$$

$$= 264,3 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \cdot X_b$$

$$= 0,85 \cdot 264,2 \text{ mm}$$

$$= 224,655 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 3402,4 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})$$

$$= 1.274.178,14 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot F_y$$

$$= 3402,4 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}$$

$$= 1.360.937,94 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot B \cdot X_b \\
 &= 0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 264,3 \text{ mm} \\
 &= 2.864.351,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2.864.351,25 \text{ N} + 1.274.178,14 \text{ N} - 1.360.937,94 \text{ N} \\
 &= 2.777.591,46 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
 &= 2.864.351,25 \text{ N} \cdot \left( 440,5 - 190,5 - \frac{224,655}{2} \right) + \\
 &\quad 1.274.178,14 \text{ N} \cdot (440,5 - 190,5 - 59,5) + \\
 &\quad 1.360.937,94 \text{ N} \cdot 59,5 \\
 &= 574.586.596 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_b}{P_b} \\
 &= \frac{574.586.596 \text{ Nmm}}{2.777.591,46 \text{ N}} \\
 &= 206,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tekan Menentukan)}$$

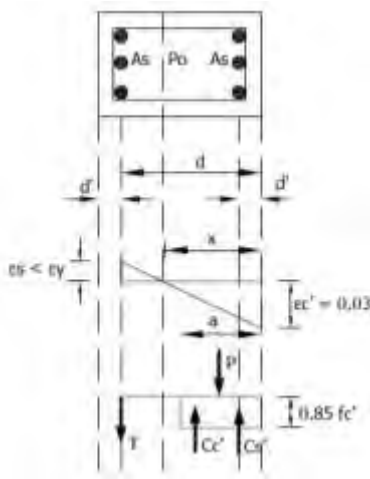
$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tarik Menentukan)}$$

$$\text{Karena } e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$30 \text{ mm} < 116,77 \text{ mm} < 206,865 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Direncanakan X sebesar 275 mm

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= \left(\frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 361,09 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200.000 \text{ Mpa}} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :  $\epsilon_s < \epsilon_y$   
 $0,0018 < 0,002..$  (memenuhi)  
 $f_s < f_y$   
 $361,09 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$



$$\begin{aligned}
C_s' &= A_s'(f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
&= 3402,44 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}) \\
&= 1.274.178,144 \text{ N} \\
C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
&= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm} \times 275 \text{ mm} \\
&= 2.980.312,5 \text{ N} \\
T &= A_s \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\
&= 3402,44 \text{ mm}^2 \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\
&= 1.228.555,79 \text{ N} \\
P &= C_c' + C_s' - T \\
&= 2.980.312,5 \text{ N} + 1.274.178,1 \text{ N} - 1.228.555,79 \text{ N} \\
&= 3.025.934,85 \text{ N} \\
\text{Syarat : } P &> P_b \\
&3.025.934,85 \text{ N} > 2.777.591,46 \text{ N (OK)} \\
M_n &= C_c' \left( d - d'' - \frac{\beta_1 X}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
&= 2.980.312,5 \text{ N} (440,5 - 59,5 - \frac{0,85 \cdot 275}{2}) + \\
&\quad 1.274.178,144 \text{ N} (440,5 - 59,5 - 190,5) + \\
&\quad 1.228.555,79 \text{ N} \cdot 440,5 \\
&= 873.524.916,5 \text{ Nmm} \\
\phi M_n &= 0,65 \cdot 873.524.916,5 \text{ Nmm} \\
&= 567.791.195 \text{ Nmm} \\
\text{Cek syarat : } \\
\phi M_{n_{\text{pasang}}} &> M_n \\
567.791.195 \text{ Nmm} &> 361.220.611,4 \text{ Nmm (OK)}
\end{aligned}$$

### ➤ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya momen dalam arah Y pada kolom K-1 sebagai berikut:

Momen Akibat Beban Gravitasi kombinasi 1,2D+ 1,6L

$$M_{1ns} = 2.793.700 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 3.286.900 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Beban gempa kombinasi

$$-0,39E_x - 1,3 E_y$$

$$M_{1s} = 141.979.800 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = -151.093.700 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai  $P_c$  ( $P$  kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot Lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 2,868 \cdot 10^{13}}{(1,65 \cdot (5000 \text{ mm} - 600 \text{ mm}))^2} \\ &= 1.709.520,157 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$= 17 \times 1.709.520,157 \text{ N}$$

$$= 29.061.842,66 \text{ N}$$

$$P_u = 2.010.603,1 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$= 17 \times 2.010.603,1 \text{ N}$$

$$= 34.180.252,7 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{29.061.842,66 \text{ N}}{0,75 \times 34.180.252,7 \text{ N}}} \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

Pembesaran Momen

$$M_1X = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$= 2.793.700 \text{ Nmm} + (1,1 \times 141.979.800 \text{ Nmm})$$

$$= 159.201.288,1 \text{ Nmm}$$

$$M_2X = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$= 3.286.900 \text{ Nmm} - (1,1 \times 151.093.700 \text{ Nmm})$$

$$= -163.160.729,9 \text{ Nmm}$$

Maka diambil momen terbesar yaitu

$$M_2X = -163.160.729,9 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_2 X}{\varphi} \\
 &= \frac{-163.160.729,9 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 251.016.507,5 \text{ Nmm} \\
 P_n &= \frac{P_u}{\varphi} \\
 &= \frac{2.010.603,1 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 3.093.235,54 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

Sumbu Vertikal

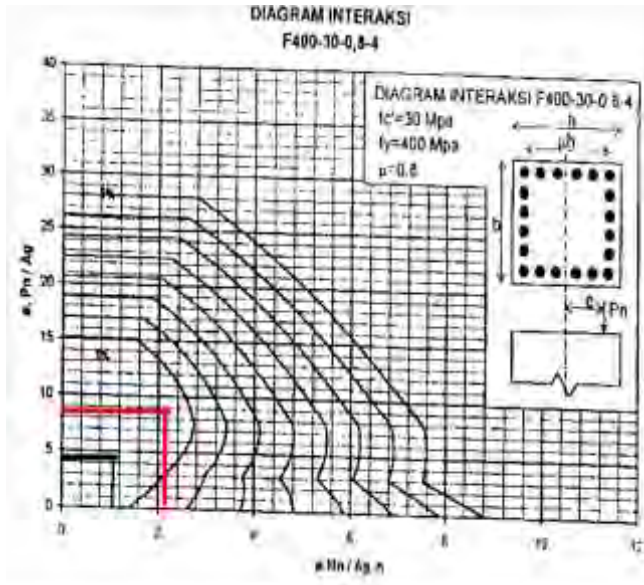
$$\frac{P_u}{bh} = \frac{2.010.603,1 \text{ N}}{500 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm}} = 8,04$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{163.160.729,9 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \cdot (500 \text{ mm})^2} = 2,008$$

$$\begin{aligned}
 \mu_h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Øgeser}) - D_{\text{lentur}} \\
 &= 500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - 19 \\
 &= 381 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{\mu_h}{h \text{ kolom}} \\
 &= 0,762 \approx 0,8
 \end{aligned}$$



Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 1\%$

Jadi Luas Tulangan lentur kolom ( $A_s$ )

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,01 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 440,5 \text{ mm} \\ &= 2500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang ( $n$ )

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{2500}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2} = 8,817 \approx 9 \text{ tulangan}$$

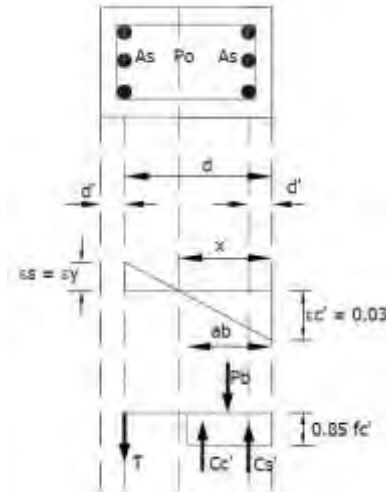
$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 9 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 2551,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari  $e_{\text{min}}$  dan  $e_{\text{perlu}}$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= (15 + 0,03 \cdot h) \\ &= (15 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{P_u} = \frac{251.016.507,5 \text{ Nmm}}{3.093.235,54 \text{ N}} = 81,15 \text{ mm}$$

### Cek Kondisi Balance



Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = 59,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 190,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d$$

$$= \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} 440,5 \text{ mm}$$

$$= 264,3 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85 \cdot X_b$$

$$= 0,85 \cdot 264,2 \text{ mm}$$

$$= 224,655 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 f_c')$$

$$= 2551,76 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})$$

$$= 955.633,6 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot F_y$$

$$= 2551,76 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}$$

$$= 1.020.703 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot B \cdot X_b$$

$$= 0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 264,3 \text{ mm}$$

$$= 2.864.351,25 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.864.351,25 \text{ N} + 955.633,6 \text{ N} - 1.020.703 \text{ N}$$

$$= 2.799.281,4 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'$$

$$= 2.864.351,25 \text{ N} \cdot \left( 440,5 - 190,5 - \frac{224,655}{2} \right) +$$

$$955.633,6 \text{ N} \cdot (440,5 - 190,5 - 59,5) +$$

$$1.020.703 \text{ N} \cdot 59,5$$

$$= 449.089.192 \text{ Nmm}$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$$= \frac{449.089.192 \text{ Nmm}}{2.799.281,4 \text{ N}}$$

$$= 160,43 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tekan Menentukan)}$$

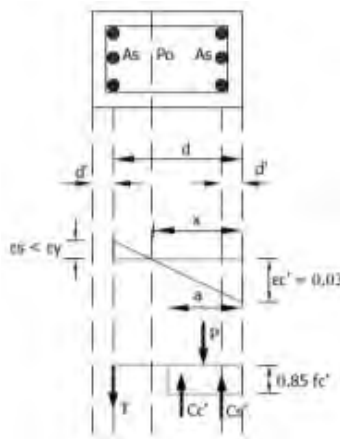
$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tarik Menentukan)}$$

$$\text{Karena } e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$30 \text{ mm} < 81,15 \text{ mm} < 206,865 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Direncanakan X sebesar 275 mm

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 361,09 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200.000 \text{ Mpa}} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :  $\epsilon_s < \epsilon_y$   
 $0,0018 < 0,002..$  (memenuhi)

$f_s < f_y$

$361,09 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 2551,76 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 955.633 \text{ N} \\
Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
&= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm} \times 275 \text{ mm} \\
&= 2.980.312,5 \text{ N} \\
T &= A_s \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\
&= 2551,76 \text{ mm}^2 \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\
&= 921.416,84 \text{ N} \\
P &= Cc' + Cs' - T \\
&= 2.980.312,5 \text{ N} + 955.633 \text{ N} - 921.416,84 \text{ N} \\
&= 3.014.529,26 \text{ N} \\
\text{Syarat : } P &> P_b \\
&3.014.529,26 \text{ N} > 2.799.281,4 \text{ N (OK)} \\
M_n &= Cc' \left( d - d'' - \frac{\beta_1 X}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
&= 2.980.312,5 \text{ N} (440,5 - 59,5 - \frac{0,85 \cdot 275}{2}) + \\
&\quad 955.633 \text{ N} (440,5 - 59,5 - 190,5) + \\
&\quad 921.416,84 \text{ N} \cdot 440,5 \\
&= 754.332.212,8 \text{ Nmm} \\
\phi M_n &= 0,65 \cdot 754.332.212,8 \text{ Nmm} \\
&= 490.315.938,3 \text{ Nmm} \\
\text{Cek syarat :} \\
\phi M_{n\text{pasang}} &> M_n \\
567.791.195 \text{ Nmm} &> 251.016.507,5 \text{ Nmm (OK)}
\end{aligned}$$

Sehingga pada kolom K-1 dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 4D19 pada tiap sisi

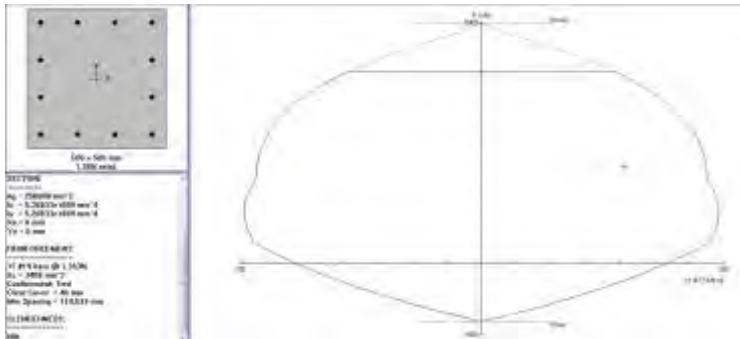
Cek dengan program PCACOL

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCACOL, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

$$\text{Mutu beton (} f_c' \text{)} = 30 \text{ MPa}$$



Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$  lentur) = 400  
 Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) = 25743 MPa  
 $\beta_1$  = 0,85  
 b kolom = 500 mm  
 h kolom = 500 mm



**Gambar 4. 71 Diagram P-M PCA COL**

```

Material Properties:
-----
fc = 30 MPa                      fy = 400 MPa
Es = 200000 MPa                  Es = 200000 MPa
Ultimate strain = 0.008 mm/mm
Beta1 = 0.85248

Sections:
-----
Rectangular: Width = 500 mm      Depth = 500 mm

Gross section area, Ag = 250000 mm^2
Ia = 5.20833e+008 mm^4          Jy = 5.20833e+008 mm^4
Kx = 0 mm                       Ky = 0 mm

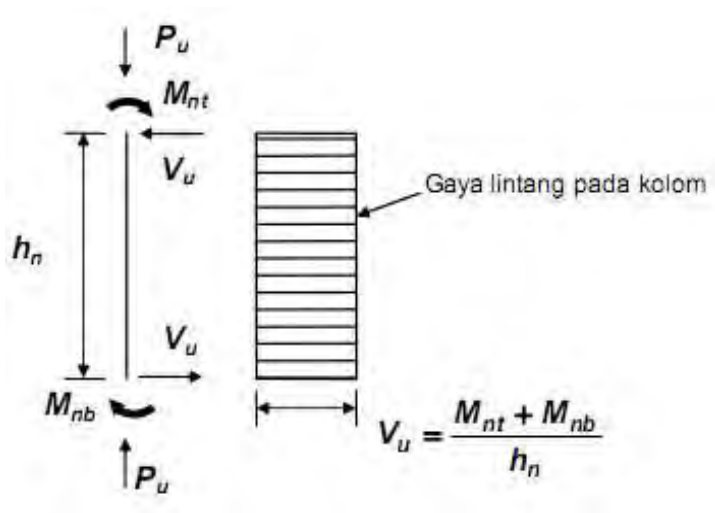
Reinforcement:
-----
Rebar Database: ASTM A615M
Size Dia (mm) Area (mm^2)      Size Dia (mm) Area (mm^2)      Size Dia (mm) Area (mm^2)
-----
# 10      10      78.5      # 12      113      129      # 16      201      314
# 12      12      113      # 14      159      159      # 18      254      400
# 14      14      159      # 16      201      201      # 20      314      628
# 16      16      201      # 18      254      254      # 22      380      880
# 18      18      254      # 20      314      314      # 24      462      1100
# 20      20      314      # 22      380      380      # 26      530      1360
# 22      22      380      # 24      462      462      # 28      603      1590
# 24      24      462      # 26      530      530      # 30      706      1960
# 26      26      530      # 28      603      603      # 32      804      2260
# 28      28      603      # 30      706      706      # 36      1017      2890
# 30      30      706      # 32      804      804      # 40      1256      3600
# 32      32      804      # 36      1017      1017      # 42      1385      3950
# 36      36      1017      # 40      1256      1256      # 44      1520      4390
# 40      40      1256      # 42      1385      1385      # 48      1808      5300
# 42      42      1385      # 44      1520      1520      # 50      1963      5890
# 44      44      1520      # 48      1808      1808      # 52      2107      6360
# 48      48      1808      # 50      1963      1963      # 54      2261      6880
# 50      50      1963      # 52      2107      2107      # 56      2420      7440
# 52      52      2107      # 54      2261      2261      # 58      2583      7960
# 54      54      2261      # 56      2420      2420      # 60      2750      8530
# 56      56      2420      # 58      2583      2583      # 62      2921      9150
# 58      58      2583      # 60      2750      2750      # 64      3096      9820
# 60      60      2750      # 62      2921      2921      # 66      3274      10540
# 62      62      2921      # 64      3096      3096      # 68      3456      11300
# 64      64      3096      # 66      3274      3274      # 70      3641      12100
# 66      66      3274      # 68      3456      3456      # 72      3830      12940
# 68      68      3456      # 70      3641      3641      # 74      4022      13820
# 70      70      3641      # 72      3830      3830      # 76      4217      14740
# 72      72      3830      # 74      4022      4022      # 78      4415      15700
# 74      74      4022      # 76      4217      4217      # 80      4616      16700
# 76      76      4217      # 78      4415      4415      # 82      4820      17740
# 78      78      4415      # 80      4616      4616      # 84      5027      18820
# 80      80      4616      # 82      4820      4820      # 86      5237      19940
# 82      82      4820      # 84      5027      5027      # 88      5450      21100
# 84      84      5027      # 86      5237      5237      # 90      5666      22300
# 86      86      5237      # 88      5450      5450      # 92      5884      23540
# 88      88      5450      # 90      5666      5666      # 94      6105      24820
# 90      90      5666      # 92      5884      5884      # 96      6328      26140
# 92      92      5884      # 94      6105      6105      # 98      6554      27500
# 94      94      6105      # 96      6328      6328      # 100     6782      28900
# 96      96      6328      # 98      6554      6554      # 102     7013      30340
# 98      98      6554      # 100     6782      6782      # 104     7246      31820
# 100     100     6782      # 102     7013      7013      # 106     7482      33340
# 102     102     7013      # 104     7246      7246      # 108     7720      34900
# 104     104     7246      # 106     7482      7482      # 110     7961      36500
# 106     106     7482      # 108     7720      7720      # 112     8204      38140
# 108     108     7720      # 110     7961      7961      # 114     8449      39820
# 110     110     7961      # 112     8204      8204      # 116     8696      41540
# 112     112     8204      # 114     8449      8449      # 118     8945      43300
# 114     114     8449      # 116     8696      8696      # 120     9196      45100
# 116     116     8696      # 118     8945      8945      # 122     9448      46940
# 118     118     8945      # 120     9196      9196      # 124     9702      48820
# 120     120     9196      # 122     9448      9448      # 126     9958      50740
# 122     122     9448      # 124     9702      9702      # 128     10215      52700
# 124     124     9702      # 126     9958      9958      # 130     10474      54700
# 126     126     9958      # 128     10215      10215      # 132     10735      56740
# 128     128     10215      # 130     10474      10474      # 134     11000      58820
# 130     130     10474      # 132     10735      10735      # 136     11266      60940
# 132     132     10735      # 134     11000      11000      # 138     11534      63100
# 134     134     11000      # 136     11266      11266      # 140     11804      65300
# 136     136     11266      # 138     11534      11534      # 142     12075      67540
# 138     138     11534      # 140     11804      11804      # 144     12348      69820
# 140     140     11804      # 142     12075      12075      # 146     12622      72140
# 142     142     12075      # 144     12348      12348      # 148     12898      74500
# 144     144     12348      # 146     12622      12622      # 150     13175      76900
# 146     146     12622      # 148     12898      12898      # 152     13454      79340
# 148     148     12898      # 150     13175      13175      # 154     13734      81820
# 150     150     13175      # 152     13454      13454      # 156     14016      84340
# 152     152     13454      # 154     13734      13734      # 158     14299      86900
# 154     154     13734      # 156     14016      14016      # 160     14584      89500
# 156     156     14016      # 158     14299      14299      # 162     14870      92140
# 158     158     14299      # 160     14584      14584      # 164     15158      94820
# 160     160     14584      # 162     14870      14870      # 166     15447      97540
# 162     162     14870      # 164     15158      15158      # 168     15738      100300
# 164     164     15158      # 166     15447      15447      # 170     16030      103100
# 166     166     15447      # 168     15738      15738      # 172     16324      105940
# 168     168     15738      # 170     16030      16030      # 174     16619      108820
# 170     170     16030      # 172     16324      16324      # 176     16916      111740
# 172     172     16324      # 174     16619      16619      # 178     17214      114700
# 174     174     16619      # 176     16916      16916      # 180     17514      117700
# 176     176     16916      # 178     17214      17214      # 182     17815      120740
# 178     178     17214      # 180     17514      17514      # 184     18118      123820
# 180     180     17514      # 182     17815      17815      # 186     18422      126940
# 182     182     17815      # 184     18118      18118      # 188     18728      130100
# 184     184     18118      # 186     18422      18422      # 190     19035      133300
# 186     186     18422      # 188     18728      18728      # 192     19344      136540
# 188     188     18728      # 190     19035      19035      # 194     19654      139820
# 190     190     19035      # 192     19344      19344      # 196     19966      143140
# 192     192     19344      # 194     19654      19654      # 198     20279      146500
# 194     194     19654      # 196     19966      19966      # 200     20594      149900
# 196     196     19966      # 198     20279      20279      # 202     20910      153340
# 198     198     20279      # 200     20594      20594      # 204     21228      156820
# 200     200     20594      # 202     20910      20910      # 206     21547      160340
# 202     202     20910      # 204     21228      21228      # 208     21868      163900
# 204     204     21228      # 206     21547      21547      # 210     22190      167500
# 206     206     21547      # 208     21868      21868      # 212     22514      171140
# 208     208     21868      # 210     22190      22190      # 214     22839      174820
# 210     210     22190      # 212     22514      22514      # 216     23166      178540
# 212     212     22514      # 214     22839      22839      # 218     23494      182300
# 214     214     22839      # 216     23166      23166      # 220     23824      186100
# 216     216     23166      # 218     23494      23494      # 222     24155      189940
# 218     218     23494      # 220     23824      23824      # 224     24488      193820
# 220     220     23824      # 222     24155      24155      # 226     24822      197740
# 222     222     24155      # 224     24488      24488      # 228     25158      201700
# 224     224     24488      # 226     24822      24822      # 230     25495      205700
# 226     226     24822      # 228     25158      25158      # 232     25834      209740
# 228     228     25158      # 230     25495      25495      # 234     26174      213820
# 230     230     25495      # 232     25834      25834      # 236     26516      217940
# 232     232     25834      # 234     26174      26174      # 238     26859      222100
# 234     234     26174      # 236     26516      26516      # 240     27204      226300
# 236     236     26516      # 238     26859      26859      # 242     27550      230540
# 238     238     26859      # 240     27204      27204      # 244     27898      234820
# 240     240     27204      # 242     27550      27550      # 246     28247      239140
# 242     242     27550      # 244     27898      27898      # 248     28598      243500
# 244     244     27898      # 246     28247      28247      # 250     28950      247900
# 246     246     28247      # 248     28598      28598      # 252     29304      252340
# 248     248     28598      # 250     28950      28950      # 254     29659      256820
# 250     250     28950      # 252     29304      29304      # 256     30016      261340
# 252     252     29304      # 254     29659      29659      # 258     30374      265900
# 254     254     29659      # 256     30016      30016      # 260     30734      270500
# 256     256     30016      # 258     30374      30374      # 262     31095      275140
# 258     258     30374      # 260     30734      30734      # 264     31458      279820
# 260     260     30734      # 262     31095      31095      # 266     31822      284540
# 262     262     31095      # 264     31458      31458      # 268     32188      289300
# 264     264     31458      # 266     31822      31822      # 270     32556      294100
# 266     266     31822      # 268     32188      32188      # 272     32925      298940
# 268     268     32188      # 270     32556      32556      # 274     33296      303820
# 270     270     32556      # 272     32925      32925      # 276     33668      308740
# 272     272     32925      # 274     33296      33296      # 278     34042      313700
# 274     274     33296      # 276     33668      33668      # 280     34418      318700
# 276     276     33668      # 278     34042      34042      # 282     34795      323740
# 278     278     34042      # 280     34418      34418      # 284     35174      328820
# 280     280     34418      # 282     34795      34795      # 286     35554      333940
# 282     282     34795      # 284     35174      35174      # 288     35936      339100
# 284     284     35174      # 286     35554      35554      # 290     36319      344300
# 286     286     35554      # 288     35936      35936      # 292     36704      349540
# 288     288     35936      # 290     36319      36319      # 294     37090      354820
# 290     290     36319      # 292     36704      36704      # 296     37478      360140
# 292     292     36704      # 294     37090      37090      # 298     37868      365500
# 294     294     37090      # 296     37478      37478      # 300     38259      370900
# 296     296     37478      # 298     37868      37868      # 302     38652      376340
# 298     298     37868      # 300     38259      38259      # 304     39046      381820
# 300     300     38259      # 302     38652      38652      # 306     39442      387340
# 302     302     38652      # 304     39046      39046      # 308     39840      392900
# 304     304     39046      # 306     39442      39442      # 310     40240      398500
# 306     306     39442      # 308     39840      39840      # 312     40641      404140
# 308     308     39840      # 310     40240      40240      # 314     41044      409820
# 310     310     40240      # 312     40641      40641      # 316     41448      415540
# 312     312     40641      # 314     41044      41044      # 318     41854      421300
# 314     314     41044      # 316     41448      41448      # 320     42261      427100
# 316     316     41448      # 318     41854      41854      # 322     42670      432940
# 318     318     41854      # 320     42261      42261      # 324     43080      438820
# 320     320     42261      # 322     42670      42670      # 326     43492      444740
# 322     322     42670      # 324     43080      43080      # 328     43905      450700
# 324     324     43080      # 326     43492      43492      # 330     44320      456700
# 326     326     43492      # 328     43905      43905      # 332     44736      462740
# 328     328     43905      # 330     44320      44320      # 334     45154      468820
# 330     330     44320      # 332     44736      44736      # 336     45574      474940
# 332     332     44736      # 334     45154      45154      # 338     45995      481100
# 334     334     45154      # 336     45574      45574      # 340     46418      487300
# 336     336     45574      # 338     45995      45995      # 342     46842      493540
# 338     338     45995      # 340     46418      46418      # 344     47268      499820
# 340     340     46418      # 342     46842      46842      # 346     47695      506140
# 342     342     46842      # 344     47268      47268      # 348     48124      512500
# 344     344     47268      # 346     47695      47695      # 350     48554      518900
# 346     346     47695      # 348     48124      48124      # 352     48986      525340
# 348     348     48124      # 350     48554      48554      # 354     49419      531820
# 350     350     48554      # 352     48986      48986      # 356     49854      538340
# 352     352     48986      # 354     49419      49419      # 358     50290      544900
# 354     354     49419      # 356     49854      49854      # 360     50728      551500
# 356     356     49854      # 358     50290      50290      # 362     51167      558140
# 358     358     50290      # 360     50728      50728      # 364     51608      564820
# 360     360     50728      # 362     51167      51167      # 366     52050      571540
# 362     362     51167      # 364     51608      51608      # 368     52494      578300
# 364     364     51608      # 366     52050      52050      # 370     52939      585100
# 366     366     52050      # 368     52494      52494      # 372     53386      591940
# 368     368     52494      # 370     52939      52939      # 374     53834      598820
# 370     370     52939      # 372     53386      53386      # 376     54284      605740
# 372     372     53386      # 374     53834      53834      # 378     54735      612700
# 374     374     53834      # 376     54284      54284      # 380     55188      619700
# 376     376     54284      # 378     54735      54735      # 382     55642      626740
# 378     378     54735      # 380     55188      55188      # 384     56098      633820
# 380     380     55188      # 382     55642      55642      # 386     56555      640940
# 382     382     55642      # 384     56098      56098      # 388     57014      648100
# 384     384     56098      # 386     56555      56555      # 390     57474      655300
# 386     386     56555      # 388     57014      57014      # 392     57936      662540
# 388     388     57014      # 390     57474      57474      # 394     58399      669820
# 390     390     57474      # 392     57936      57936      # 396     58864      677140
# 392     392     57936      # 394     58399      58399      # 398     59330      684500
# 394     394     58399      # 396     58864      58864      # 400     59798      691900
# 396     396     58864      # 398     59330      59330      # 402     60267      699340
# 398     398     59330      # 400     59798      59798      # 404     60738      706820
# 400     400     59798      # 402     60267      60267      # 406     61210      714340
# 402     402     60267      # 404     60738      60738      # 408     61684      721900
# 404     404     60738      # 406     61210      61210      # 410     62159      729500
# 406     406     61210      # 408     61684      61684      # 412     62636      737140
# 408     408     61684      # 410     62159      62159      # 414     63114      744820
# 410     410     62159      # 412     62636      62636      # 416     63594      752540
# 412     412     62636      # 414     63114      63114      # 418     64075      760300
# 414     414     63114      # 416     63594      63594      # 420     64558      768100
# 416     416     63594      # 418     64075      64075      # 422     65042      775940
# 418     418     64075      # 420     64558      64558      # 424     65528      783820
# 420     420     64558      # 422     65042      65042      # 426     66015      791740
# 422     422     65042      # 424     65528      65528      # 428     66504      799700
# 424     424     65528      # 426     66015      66015      # 430     66994      807700
# 426     426     66015      # 428     66504      66504      # 432     67486      815740
# 428     428     66504      # 430     66994      66994      # 434     67979      823820
# 430     430     66994      # 432     67486      67486      # 436     68474      831940
# 432     432     67486      # 434     67979      67979      # 438     68970      840100
# 434     434     67979      # 436     68474      68474      # 440     69468      848300
# 436     436     68474      # 438     68970      68970      # 442     69967      856540
# 438     438     68970      # 440     69468      69468      # 444     70468      864820
# 440     440     69468      # 442     69967      69967      # 446     70970      873140
# 442     442     70468      # 444     70970      70970      # 448     71474      881
```

Berdasarkan hasil dari program bantu SAP 2000 didapatkan hasil gaya aksial yang terjadi pada kolom K1 sebagai berikut :

Gaya aksial akibat (1,2D + 1,6L)

$$P_u = 193.570,69 \text{ kg} = 1.935.706,9 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom yang menggunakan SRPMM harus direncanakan sebagai berikut :



**Gambar 4. 73 Desain Untuk Geser Kolom**

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_n}$$

Dimana:

$M_{nt}$  = Momen nominal atas kolom

$M_{nb}$  = Momen nominal bawah kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{361220611,4 \text{ Nmm}}{0,75} = 481627481,9 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{361220611,4 \text{ Nmm}}{0,75} = 481627481,9 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_n}$$

$$V_u = \frac{481627481,9 + 481627481,9}{4400}$$

$$= 218921,6 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3MPa

$$\sqrt{f_c} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30 \text{ Mpa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,4772 < 8,3 \text{ (memenuhi)}$$

#### Kuat Geser beton

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right] \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= ,17 \left[ 1 + \frac{1.935.706,9 \text{ N}}{14.250000} \right] \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 500.440,5$$

$$= 216862,06 \text{ N}$$

#### Kuat Geser Tulangan

$$V_{s \text{ min}} = 0,33 \cdot b_w \cdot D$$

$$= 0,33 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 440,5 \text{ mm}$$

$$= 72682,5 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0,33 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,33 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 440,5 \text{ mm}$$

$$= 398098,45 \text{ N}$$

$$V_{s_2 \text{ max}} = 0,66 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,66 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 440,5 \text{ mm}$$

$$= 796196,9 \text{ N}$$

Cek Kondisi GeserKondisi 1

(Tidak perlu tulangan geser)

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c$$

$$218921,6 \text{ N} \leq 81323,27 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 2

(Tulangan geser minimum)

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c$$

$$81232,27 \leq 218921,6 \text{ N} \leq 162646,55 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 3

(Tulangan geser minimum)

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ min})$$

$$162646,55 \text{ N} \leq 218921,6 \text{ N} \leq 217158 \text{ N}$$

(Tidak Memenuhi)

Kondisi 4

(Tulangan geser)

$$\emptyset (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_s \text{ max})$$

$$217158 \text{ N} \leq 218921,6 \text{ N} \leq 461220,38 \text{ N}$$

(Memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{218921,6 \text{ N} - 162646,55 \text{ N}}{0,75}$$

$$V_s \text{ perlu} = 75033,38 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset 10$  mm dengan sengkang 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v \text{ perlu} = (0,25 \times 3,14 \times d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2) \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu (S perlu)

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 440,5 \text{ mm}}{75033,38 \text{ N}}$$

$$= 221,33 \text{ mm}$$

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser**

#### **Kolom**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a)  $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

#### **SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.(2)**

- |                       |   |                                    |
|-----------------------|---|------------------------------------|
| a) $S_{\text{pakai}}$ | < | 8 x D lentur                       |
| 221 mm                | < | 8 x 19                             |
| 221 mm                | < | 152 mm (tdk memenuhi)              |
| b) $S_{\text{pakai}}$ | < | 24 x D sengkang                    |
| 221 mm                | < | 8 x 10                             |
| 221 mm                | < | 240 mm (memenuhi)                  |
| c) $S_{\text{pakai}}$ | < | 24 x D sengkang                    |
| 221 mm                | < | $\frac{1}{2} \cdot 500 \text{ mm}$ |
| 221 mm                | < | 250 mm                             |
| d) $S_{\text{pakai}}$ | < | 300 mm                             |
| 221 mm                | < | 300 mm (memenuhi)                  |

Jadi dipasang sengkang  $\phi 10-150$

Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

a) Seperenam tinggi bersih kolom

$$\begin{aligned} L_o &= 1/6. (5000 - 600) \text{ mm} \\ &= 733 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o = 500 \text{ mm}$$

c)  $L_o > 450 \text{ mm}$

Sehingga dipasang sengkang sebesar  $\phi 10 - 150 \text{ mm}$ .

### Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

Panjang penyaluran dalam kondisi tekan  $l_{dc}$  harus diambil dari nilai yang terbesar dari

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c}} \right) \cdot d_s \left( \frac{0,24 \cdot 400 \text{ Mpa}}{1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 19 \text{ mm}$$

$$333,01 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{dc} &= (0,043 \cdot f_y) d_b \\ &= (0,043 \cdot 400 \text{ Mpa}) \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 326,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

syarat  $l_{dc}$  tidak boleh kurang dari

$$200 \text{ mm}$$

### **Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1, Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 420$  Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

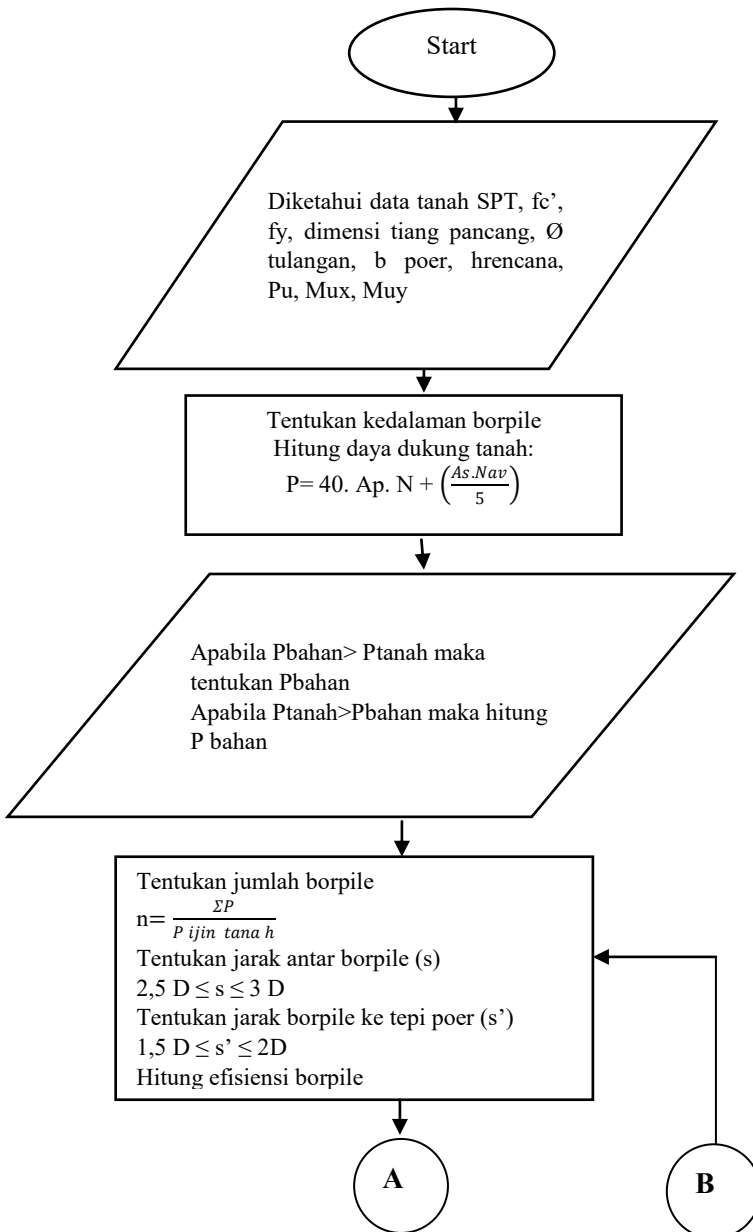
$$0,071 \times 400 \text{ Mpa} \times 19 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

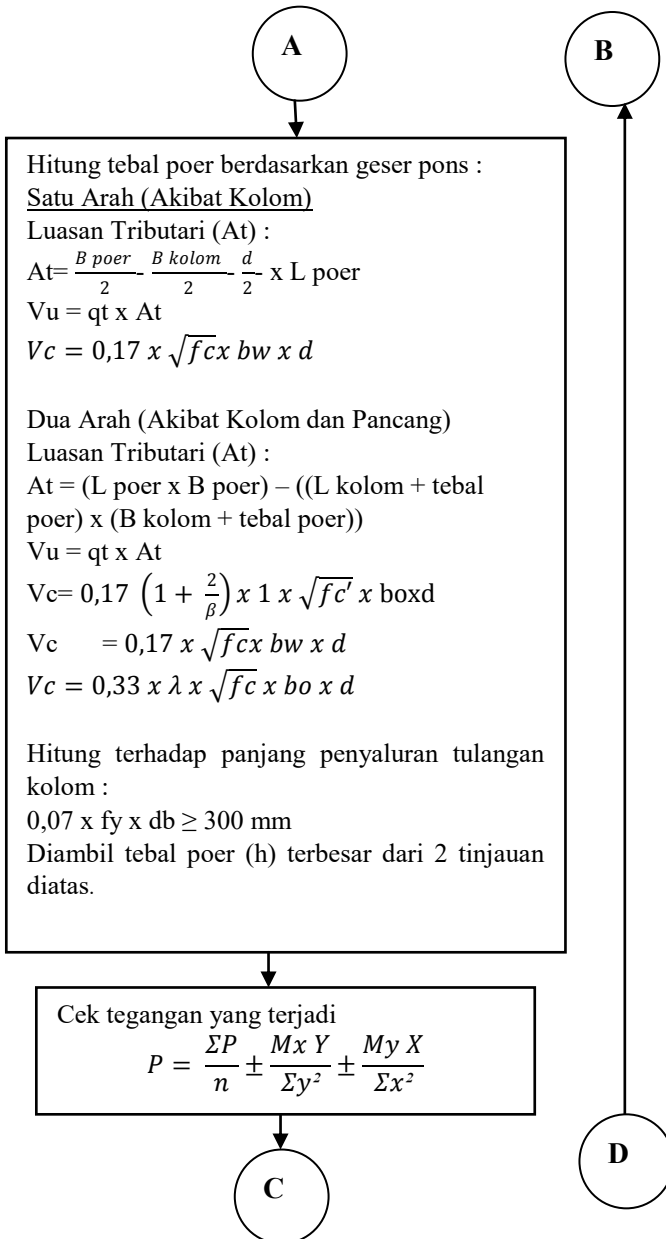
$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

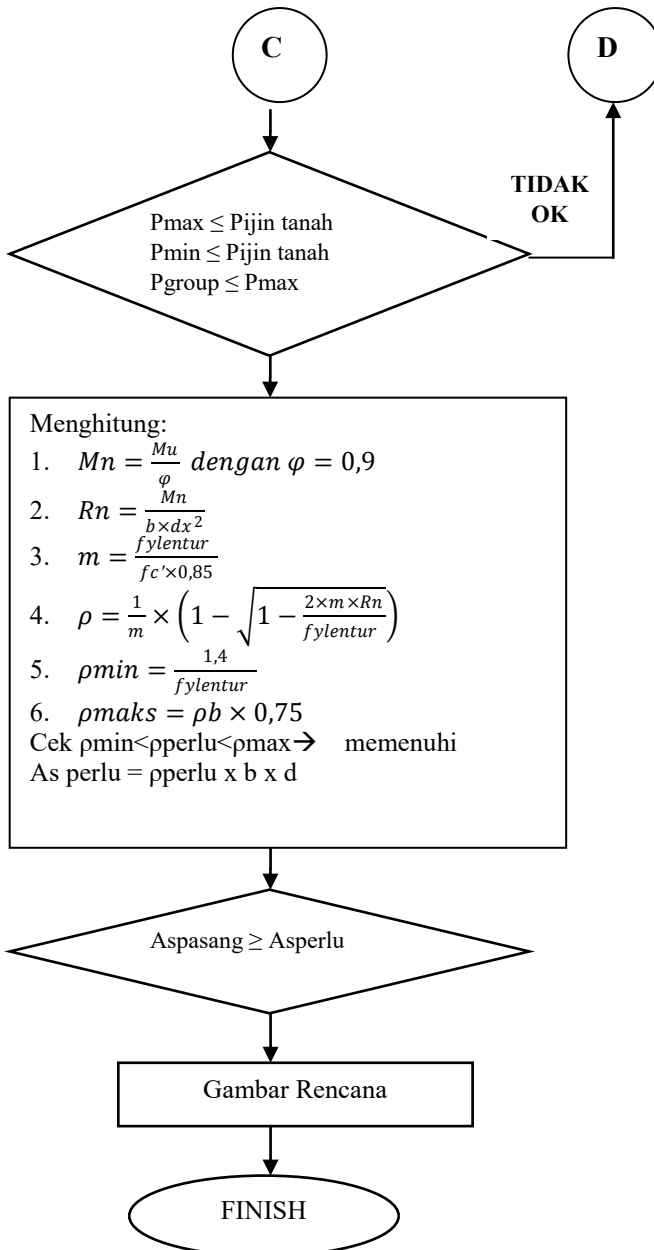
Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 600 mm



## 4.6 Perhitungan Pondasi

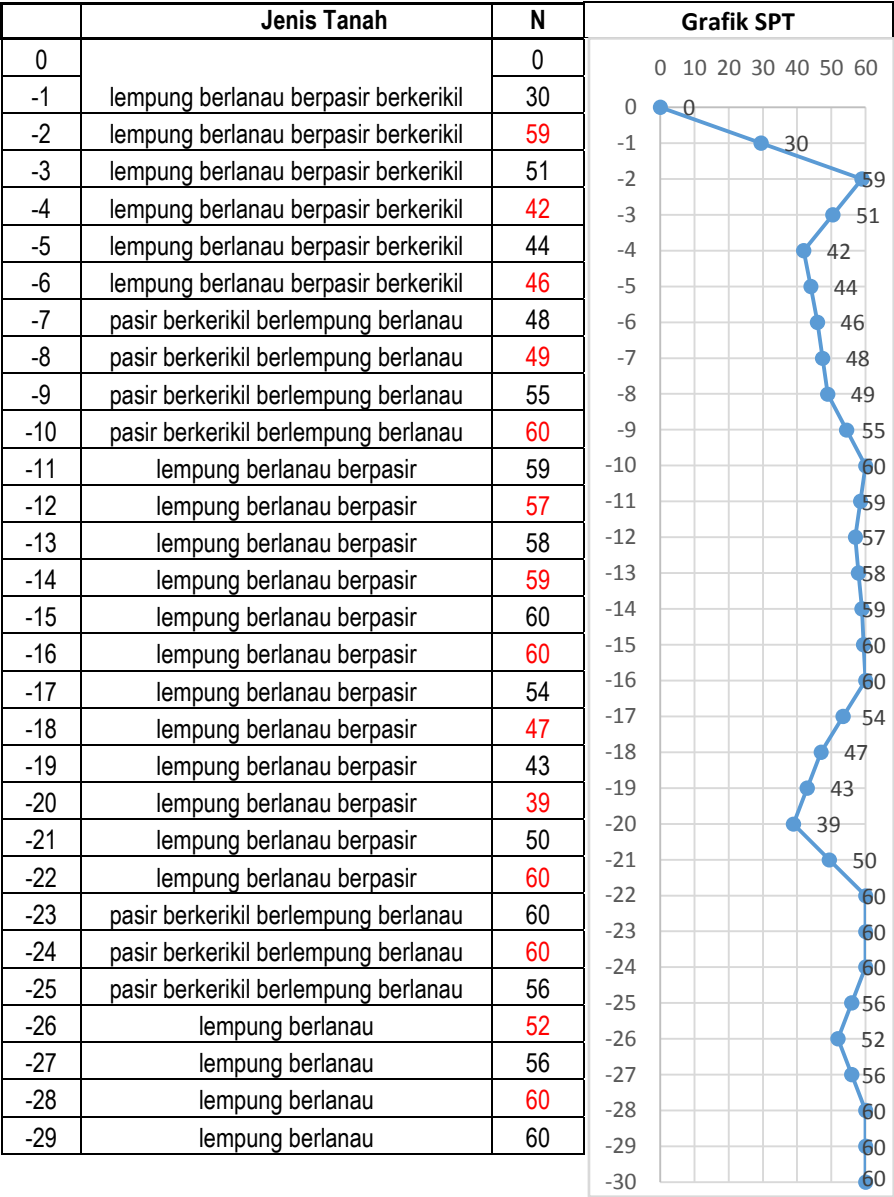






**Gambar 4. 74 Flowchart Perhitungan Pondasi**

Diketahui data tanah sebagai berikut :



-30	lempung berlanau	60
-----	------------------	----

Direncanakan:

$$\text{Kedalaman bor pile (h)} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Diameter bor pile (D)} = 0,3$$

$$\text{Keliling bor pile} = \pi \cdot D$$

$$= 3,14 \cdot 0,3 \text{ m} = 0,94 \text{ m}$$

$$\text{Luas bor pile (Ap)} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,3)^2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut tiang (As)} = \pi \cdot D \cdot h$$

$$= 3,14 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 10 \text{ m} = 9,42 \text{ m}^2$$

$$\text{Tebal selimut (t)} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Safety factor} = 3$$

Menghitung daya dukung tanah :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Dengan

$$Q_p = 40 \cdot N \cdot A_p \cdot 50\%$$

$$= 40 \cdot 60 \cdot 0,071 \text{ m}^2 \cdot 50\%$$

$$= 84,82 \text{ ton}$$

$$Q_s = \frac{A_s \cdot N_{av}}{5}$$

$$= \frac{9,43 \cdot 40,83}{5}$$

$$= 76,96 \text{ ton}$$

$$Q_u = 84,82 \text{ ton} + 76,96 \text{ ton}$$

$$= 161,8 \text{ ton}$$

$$P_{ijin} = \frac{Q_u}{Sf}$$

$$= \frac{161,8 \text{ ton}}{3}$$

$$= 53,93 \text{ ton}$$

#### 4.6.1 Perhitungan Pondasi Tipe 1

Diketahui output SAP 2000 pada joint 764

- Akibat beban tetap (1,0DL + 1,0LL)

$$P = 100,68 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ex)

$$P = 116,30 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ey)

$$P = 117,43 \text{ Ton}$$

a. Perhitungan Kebutuhan Bor pile

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri poer

$$P_{\max} = 122,68 \text{ Ton (dari kombinasi 1D+1L)}$$

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{ijin}} = \frac{100,68}{53,93} = 1,76 \approx 2$$

b. Perencanaan Dimensi Poer

Pada perencanaan pondasi bor pile dalam menghitung jarak antar bor pile (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar bor pile (S)

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \geq 2,5 \times 30 \text{ cm}$$

$$S \geq 75 \text{ cm} \quad \text{Maka dipakai } S = 80 \text{ cm}$$

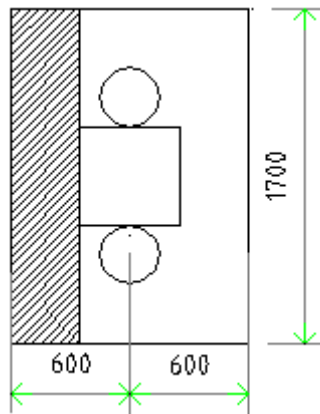
Perhitungan jarak bor pile ke tepi poer (S')

$$S' = 1,5 D$$

$$S' = 1,5 \times 30 \text{ cm}$$

$$S' = 45 \text{ cm} \quad \text{Maka dipakai } S = 45 \text{ cm}$$

Dapat disimpulkan ukuran panjang poer, yaitu: = 1,7 m , lebar = 1,2 m



b. Perhitungan Kebutuhan Bor pile

$$\begin{aligned}\text{Berat poer} &= A. t \text{ poer. BJ} \\ &= 1,2 \text{ m. } 1,7 \text{ m. } 0,6 \text{ m. } 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2203,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

Perhitungan jumlah tiang

Akibat beban tetap (1D+ 1L)

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{100680 + 2203}{53,93} = 1,92 \approx 2$$

Akibat beban sementara (1D+1L+1E)

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{12000 + 2203}{53,93} = 1,96 \approx 2$$

c. Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi

Periksa ulang kebutuhan bor pile setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan 600 mm dan berat tanah di atas poer.

$$\begin{aligned}\text{Pmax} &= 117,43 \text{ Ton} \\ \text{Berat poer} & (1,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2,4 \text{ Ton/m}^3) = 2,203 \text{ Ton} \\ \text{Berat tanah} & (1,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 2 \text{ Ton/m}^3) = \underline{3,672 \text{ Ton}+}\end{aligned}$$

123,305 Ton

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{117,43}{53,93} = 1,97 \approx 2$$

Setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan dimensi (1700 mm x 900 mm) dan tanah diatas poer tetap dibutuhkan bor pile sebanyak 2 buah

d. Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi

Dari output program analisis struktur ditinjau joint 659 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

$$Efisiensi = 1 - Arctag \frac{0,3 \left[ \frac{(1-1)^2 + (2-1)1}{90 \times 2 \times 1} \right]}{0,8}$$

$$Efisiensi = 0,885$$

$$P_{ijin\ tanah} = n \times P_{ijin}$$

$$P_{ijin\ tanah} = 0,885 \times 53,93 \text{ ton}$$

$$P_{ijin\ tanah} = 47,77 \text{ ton}$$

d. Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok

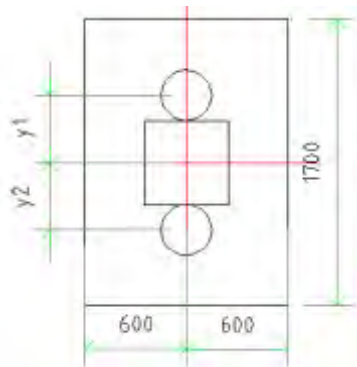
Dari output program analisis struktur ditinjau joint 659 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

#### Akibat beban tetap (D+L)

$$P = 117,43 \text{ Ton}$$

$$M_y = -4,799 \text{ Ton-m}$$

$$M_x = 7,567 \text{ Ton-m}$$





Tabel perhitungan jarak X dan Y

No	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>
1	0	0	0,4	0,16
2	0	0	0,4	0,16
	$\Sigma X^2$	0	$\Sigma Y^2$	0,32

Gaya yang dipikul masing masing bor pile

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{Mx Y}{\Sigma y^2} \pm \frac{My X}{\Sigma x^2}$$

$$P1 = \frac{117,43}{2} + \frac{-7,576 \times 0,4}{0,32} = 59,788 \text{ Ton}$$

$$P1 = \frac{117,43}{2} + \frac{-7,576 \times 0,4}{0,32} = 59,788 \text{ Ton}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu bor pile adalah P= 59,788 Ton

Syarat :

$P_{\max} (1 \text{ Tiang}) < P_{\text{ijin tanaah}} \times n$

69,419 Ton < 58,738 ton ( Tidak Memenuhi)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) tabel 1.1, untuk tanah keras daya dukung pondasi yang diijinkan dinaikan 50%.

$P_{\max} (1 \text{ Tiang}) < P_{\text{ijin tanaah}} \times n \times 1,5$

59,788 Ton < 70,109 ton (Memenuhi)

#### e. Perhitungan Tebal Poer

Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya). Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana Vult adalah senilai dengan Pu hal ini terjadi karena pondasi yang digunakan adalah bor pile

dan geser ponds terjadi di poer, bukan pada pondasi, maka  $V_c$  diambil dari perhitungan berikut.

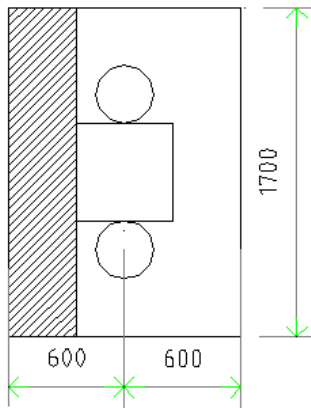
Pu max akibat beban tetap

$$\Sigma P = 117,43 \text{ Ton}$$

$$\text{luasan poer} = 2,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Reaksi perlawanan arah} = \frac{117,43}{2,04} = 76,75 \text{ Ton/m}^2 = 0,7675 \text{ N/mm}^2$$

Perhitungan geser 1 arah



Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$V_u = P_u \times b_w \times L'$$

$$\begin{aligned} L' &= (1/2 \times B) - (1/2 \times \text{Lebar Kolom}) - d \\ &= (1/2 \times 900) - (1/2 \times 500) - d \\ &= 450 - 250 - d \\ &= 200 - d \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} V_u &= P_u \times b_w \times L' \\ &= 0,7675 \times 900 \times (200 - d) \\ &= 690,75 \times (200 - d) \\ &= 138150 - 690,75d \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1

gaya geser yang mampu dipikul oleh beton  $V_c$  (N)

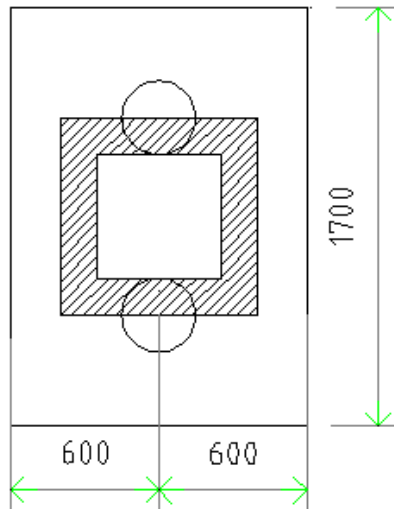
$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_{cx}} \times b_w \times d$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$\begin{aligned} 138150 - 690,75d &\leq 0,17 \times \sqrt{30} \times 900 \times d \\ 138150 - 690,75d &\leq 838d \\ 90,368 &\geq d \end{aligned}$$

Perhitungan geser 2 arah Akibat Kolom



Luasan tributuri  $A_t$  (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} A_t &= (L \text{ poer} \times B \text{ poer}) - ((h \text{ kolom} + \text{tebal poer}) \times (b \text{ kolom} + \text{tebal poer})) \\ &= (900 \times 1700) - ((500 + d) \times (500 + d)) \\ &= 1280000 - 1000d - d^2 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$\begin{aligned} V_u &= P_u \times A_t \\ &= 0,7675 \times (1280000 - 1000d - d^2) \\ &= 982400 - 767,5d - 0,7675d^2 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= 2 x (500 + 500) + 4d \\ &= 2000 + 4d \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) x 1 x \sqrt{30} x 2000 + 4d x d \\ 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) x 1 x \sqrt{30} x 2000 + 4d x d \\ 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq 5586d + 11,172d^2 \\ 0 &\leq 11,94d^2 + 6353,5d - 982400 \end{aligned}$$

$$d_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{1,2} = \frac{-6353,5 \pm \sqrt{6353,5^2 - 4 x 11,94 x -982400}}{2 x 11,94}$$

$$d_1 = 528,86$$

$$d_2 = -3,257$$

Akar yang memenuhi syarat :  $d > 528,86 \text{ mm}$

Persamaan 2

$$V_c = 0,083 \left( \frac{a_s x d}{b_o} + 2 \right) x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= 2 x (500 + 500) + 4d \\ &= 2000 + 4d \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq 0,083 \left( \frac{a_s x d}{b_o} + 2 \right) x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d \\ 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq 0,083(a_s x d + 2b_o)x \lambda x \sqrt{f_c} x d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq \\
 0,083(30 x d + 2(2000 + 4d)) x 1 x \sqrt{30} x d \\
 982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 &\leq 17,275 d^2 + 1818,43 d \\
 0 &\leq 16,507 d^2 + 2585,93 d - 982400
 \end{aligned}$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} = \frac{-2585,93 \pm \sqrt{2585,93^2 - 4 x 16,507 x -982400}}{2 x 16,507}$$

$$d_1 = 177,89$$

$$d_1 = -334,5$$

Akar yang memenuhi syarat :  $d > 177,89 \text{ mm}$

### Persamaan 3

$$V_c = 0,33 x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d$$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$$= 2 x (500 + 500) + 4d$$

$$= 2000 + 4d$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 \leq 0,33 x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d$$

$$982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 \leq 0,33 x 1 x \sqrt{30} x (2000 + 4d) x d$$

$$982400 - 767,5 d - 0,7675 d^2 \leq 3614,9 d + 7,229 d^2$$

$$0 \leq 7,997 d^2 + 774,73 d - 982400$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_{12} = \frac{-774,73 \pm \sqrt{774,73^2 - 4 x 7,997 x -982400}}{2 x 7,997}$$

$$d_1 = 305,5$$

$$d_1 = -402,2$$

Akar yang memenuhi syarat :  $d > 305,5 \text{ mm}$

Diambil yang terbesar geser ponds dua arah akibat kolom, yaitu  $d > 528,86 \text{ mm}$

### Perhitungan geser 2 arah Akibat Borpile

Beban yang bekerja pada tiang pancang akibat (1,0 DL + 1,0 LL ) adalah 59,788 ton, dibuat menjadi beban ultimate maka

$$\begin{aligned} P_u &= P_{\max} \times 1,3 \\ &= 59,788 \text{ ton} \times 1,3 \\ &= 77,724 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$P_u = \frac{P_u}{A_{\text{poer}}} = \frac{77,724 \text{ ton}}{1,2 \text{ m} \cdot 1,7 \text{ m}} = 38,1 \text{ t/m}^2 = 0,381 \text{ N/mm}^2$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$V_u = P_u \times A_t$$

$$\begin{aligned} A_t &= A_{\text{poer}} - A_{\text{pondasi}} \\ &= (B \cdot L) - \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (d_{\text{borpile}} + \frac{1}{2} \cdot d) \right) \\ &= (1200 \text{ mm} \cdot 1700 \text{ mm}) - \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (300 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 515,5 \text{ mm}) \right) \\ &= 2002562 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 0,381 \text{ N/mm}^2 \cdot 2002562 \text{ mm}^2 \\ &= 762976 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Persamaan 1

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= \pi \cdot (300 \text{ mm} + 515,5 \text{ mm}) \\ &= 2561,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 762976 \text{ N} &\leq 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \lambda \lambda \sqrt{30} \times 2591,96 \cdot 515,5 \\ 762976 \text{ N} &\leq 3689209 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### Persamaan 2

$$V_c = 0,083 \left( \frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \right) \lambda \lambda \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= \pi \cdot (300 \text{ mm} + 515,5 \text{ mm}) \\ &= 2561,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 762976 \text{ N} &\leq 0,083 \left( \frac{40.515,5}{2591,96} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times 2591,96 \times 515,5 \\ 762976 \text{ N} &\leq 6033126 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Persamaan 3

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \\ b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= \pi \cdot (300\text{mm} + 515,5 \text{ mm}) \\ &= 2561,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 762976 \text{ N} &\leq 0,33 \times \lambda \times \sqrt{30} \times 2561,96 \times 515,5 \text{ mm} \\ 762976 \text{ N} &\leq 2387136 \text{ N (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka tebal poer yang direncanakan sudah memenuhi terhadap geser pons yang terjadi

### f. Cek Terhadap Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, ldc harus diambil sebesar yang terbesar dari  $0,24F_y/(\lambda\sqrt{f_c'}) d$ , dan  $(0,043.f_y) d$

$$\begin{aligned} 0,24F_y/(\lambda\sqrt{f_c'}) d &\geq (0,043.f_y) d \\ 0,24 \times 400 / (1 \times \sqrt{30}) \times 19 &\geq (0,043 \times 400) \times 19 \\ 333,02 \text{ mm} &\geq 327 \text{ mm} \\ d_{\text{poer}} &\geq 333,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tebal poer diambil d terbesar yaitu  $d > 528,86 \text{ mm}$  dan berdasarkan perhitungan panjang penyaluran tulangan dibutuhkan 333,02 mm, jadi dipakai tebal poer

$$(h) = \text{tebal cover} + \text{dim tul poer} + 1/2 \text{ dim tul poer} + d_{\text{rencana}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 50\text{mm} + 19\text{mm} + (1/2 \times 19) + 528,86 \text{ mm} \\
 &= 607,36 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

g. Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap (Poer)

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi bor pile dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban sementara lebih besar daripada P beban tetap.

Data Perencanaan

Dimensi poer = 0,9m x 1,7m x 0,7m

Jumlah bor pile = 2 buah

Dimensi kolom = 50 cm x 50 cm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa

Diameter tulangan utama = 19 mm

Selimut beton ( $p$ ) = 50 mm

$h$  = 700 mm

$dx$  =  $700 - 50 - (1/2 \times 19)$  = 640,5 mm

$dy$  =  $700 - 50 - 19 - (1/2 \times 19)$  = 621,5 mm

$\phi$  = 0,8

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

Poer arah X :

$b_1$  = 350 mm

$b_2$  = 175 mm

$b_3$  = 0 mm

Poer arah Y :

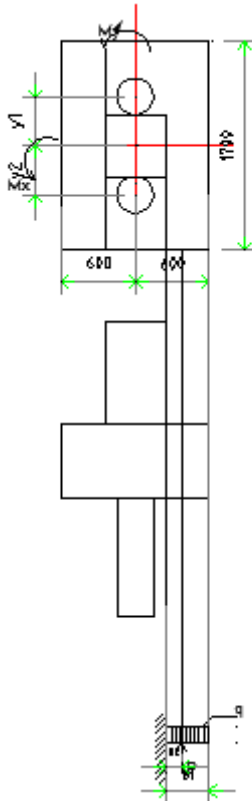
$b_1$  = 600 mm

$b_2$  = 450 mm

$b_3$  = 0 mm



### Penulangan Poer Arah X



$$\begin{aligned} q_u = \text{berat poer} &= 1,7 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m} \times b_1 \\ &= 734,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= -(q_u \times \frac{1}{2} b_1) \\ &= -(734,4 \times (\frac{1}{2} \times 0,35)) \\ &= 73,44 \text{ kgm} \\ &= 734400 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{734400 \text{ Nmm}}{0,9} = 816000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{816000}{0,9 \times 900 \times 640,5^2} = 0.0024 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 0.0024}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,000006$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,000006 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,000006 = 0,0000078$$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 0,0000078 \times 900 \text{ mm} \times 640,5 \text{ mm} \\ &= 4,496 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$\begin{aligned} A_{s_{\min}} &= \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 900 \times 640,5}{400} \\ A_{s_{\min}} &= 2017,575 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 700 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 900}{2017,575}$$

$$S = 126,47 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-100

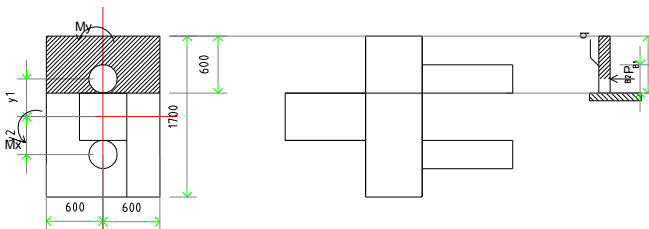
$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1400}{100}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 3969,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 3969,4 \text{ mm}^2 \geq 2017,575 \text{ mm}^2$$

### Penulangan Poer Arah Y



$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 1,7 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m} \times b_1 \\ &= 2203,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pmax beban tiang  $P = 117,43 \text{ Ton}$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$M_u = (- (q_u \times \frac{1}{2} b_1) + P \times \text{jarak as tiang ke tepi kolom})$$

$$\begin{aligned}
 &= (-2203,2 \times (\frac{1}{2} \times 0,6)) + (117430 \times 0,15) \\
 &= 16953,54 \text{ kgm} = 169535400 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{169535400 \text{ Nmm}}{0,9} = 188372666,7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{188372666,7}{0,9 \times 1700 \times 621,5^2} = 0,318 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,20} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 0,318}{400}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0008$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0008 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0008 = 0,0014$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{perlu}} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\
 &= 0,0014 \times 1700 \text{ mm} \times 621,5 \text{ mm} \\
 &= 1101,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1700 \times 621,5}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 3697,9 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

maka  $A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 700 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1700}{3697,9}$$

$$S = 130 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-100

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1700}{100}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 4819,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 4819,9 \text{ mm}^2 \geq 3697,9 \text{ mm}^2$$

#### 4.6.2 Perhitungan Pondasi Tipe 2

Diketahui output SAP 2000 pada joint 6921

- Akibat beban tetap (1,0DL + 1,0LL)

$$P = 152,73 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ex)

$$P = 165,61 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ey)

$$P = 157,43 \text{ Ton}$$

##### a. Perencanaan Dimensi Poer

Pada perencanaan pondasi bor pile dalam menghitung jarak antar bor pile (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar bor pile (S)

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \geq 2,5 \times 30 \text{ cm}$$

$$S \geq 75 \text{ cm} \quad \text{Maka dipakai } S = 75 \text{ cm}$$

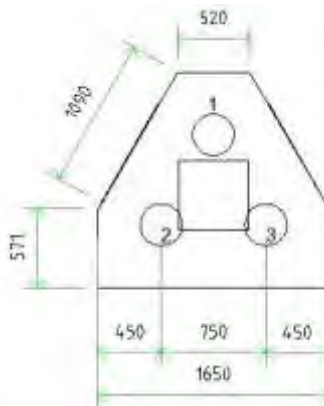
Perhitungan jarak bor pile ke tepi poer (S')

$$S' = 1,5 D$$

$$S' = 1,5 \times 30 \text{ cm}$$

$$S' = 45 \text{ cm} \quad \text{Maka dipakai } S = 45 \text{ cm}$$

Dapat disimpulkan ukuran poer sebagai berikut:



$$\begin{aligned} A_{\text{poer}} &= 2 \text{ m}^2 \\ \text{Tebal poer} &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kebutuhan Bor pile

$$\begin{aligned} \text{Berat poer} &= A \cdot t_{\text{poer}} \cdot B_j \\ &= 2 \text{ m}^2 \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2880 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah tiang

Akibat beban tetap (1D+ 1L)

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin}}} = \frac{152,73 + 2880}{53,93} = 2,1 \approx 3$$

Akibat beban sementara (1D+1L+1E)

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin}}} = \frac{165,6 + 2880}{53,93} = 2,9 \approx 3$$

c. Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi

Dari output program analisis struktur ditinjau joint 6119 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi} = 1 - \text{Arctag} \frac{0,3}{0,75} \left[ \frac{(1 - 1)2 + (2 - 1)1}{90 \times 2 \times 1} \right]$$

$$\text{Efisiensi} = 0,76$$

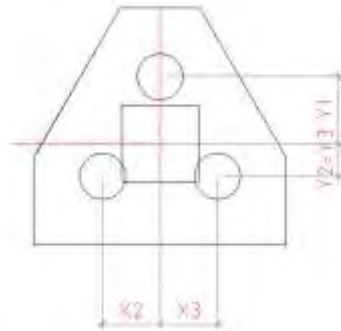
$$P_{\text{ijin tanah}} = \eta \times P_{\text{ijin}}$$

$$= 0,76 \times 53,93 \text{ ton}$$

$$= 40,86 \text{ ton}$$

d. Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok

Dari output program analisis struktur ditinjau joint 659 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :



Akibat beban sementara (D+L+E)

$$P = 165,61 \text{ Ton}$$

$$M_y = -6,292 \text{ Ton-m}$$

$$M_x = 8,067 \text{ Ton-m}$$

Tabel perhitungan jarak X dan Y

No	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>
1	0	0	0,433	0,188
2	-0,375	0,141	0	0
3	0,375	0,141	0	0
	$\Sigma X^2$	0,281	$\Sigma Y^2$	0,188

Gaya yang dipikul masing masing bor pile

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_x Y}{\Sigma y^2} \pm \frac{M_y X}{\Sigma x^2}$$



$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{165,61}{3} - \frac{8,067 \times 0,433}{0,188} + \frac{-6,292 \times 0}{0,281} = 75,435 \text{ Ton} \\
 P1 &= \frac{165,61}{3} + \frac{8,067 \times 0}{0,188} + \frac{-6,292 \times -0,375}{0,281} = 65,194 \text{ Ton} \\
 P1 &= \frac{165,61}{3} + \frac{8,067 \times 0}{0,188} + \frac{-6,292 \times 0,375}{0,281} = 48,414 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu bor pile adalah  $P = 75,435 \text{ Ton}$

Syarat :

$P_{\max} (1 \text{ Tiang}) < P_{ijin} \text{ t.1,3}$

$75,435 \text{ Ton} < 106,867 \text{ ton (Memenuhi)}$

#### e. Perhitungan Tebal Poer

Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya). Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana Vult adalah senilai dengan Pu hal ini terjadi karena pondasi yang digunakan adalah bor pile dan geser pons terjadi di poer, bukan pada pondasi, maka  $V_c$  diambil dari perhitungan berikut.

Data Perencanaan:

h rencana = 600 mm

tebal cover = 75 mm

dimensi tulangan poer = 19 mm

b kolom = 500 mm

h kolom = 500 mm

Tinggi efektif

$d = h - \text{selimut beton} - (1/2 D)$

$= 600 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - (1/2 \cdot 19 \text{ mm})$

$= 515,5 \text{ mm}$

Pu max akibat beban sementara

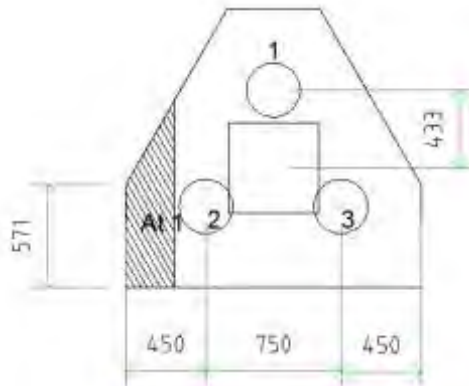
$$P = 165,61 \quad \text{Ton}$$

$$M_y = -6,292 \quad \text{Ton-m}$$

$$M_x = 8,067 \quad \text{Ton-m}$$

Cek Perhitungan Geser Pons 1 Arah

Luas Tributary 1



$$P_u = \frac{\Sigma P}{A_{poer}} = \frac{1656100 \text{ N}}{2000000 \text{ mm}^2} = 0,827 \text{ N/mm}^2$$

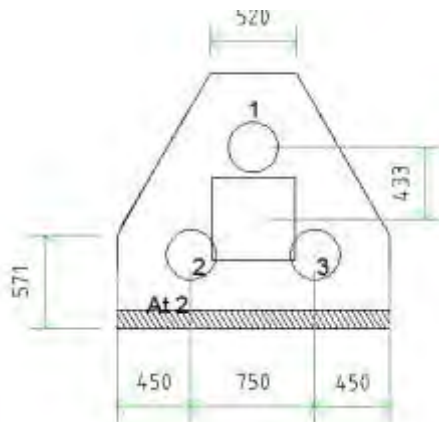
Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$A_{poer} = 2 \text{ m}^2 = 2000000 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 0,22 \text{ m}^2 = 220000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_u &= P_u \times A_t \\ &= 0,827 \text{ N/mm}^2 \times 220000 \text{ mm}^2 \\ &= 181894,14 \text{ N} \end{aligned}$$

## Luas Tributary 2



$$P_u = \frac{\Sigma P}{A_{poer}} = \frac{1656100 \text{ N}}{2000000 \text{ mm}^2} = 0,827 \text{ N/mm}^2$$

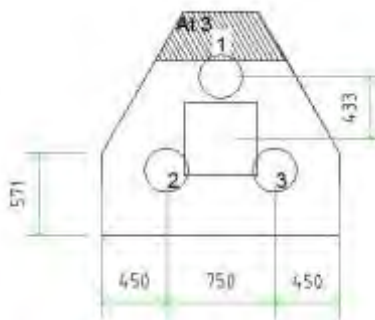
Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$A_{poer} = 2 \text{ m}^2 = 2000000 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 0,19 \text{ m}^2 = 192000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_u &= P_u \times A_t \\ &= 0,827 \text{ N/mm}^2 \times 192000 \text{ mm}^2 \\ &= 158744 \text{ N} \end{aligned}$$

## Luas Tributary 3



$$P_u = \frac{\Sigma P}{A_{poer}} = \frac{1656100 \text{ N}}{2000000 \text{ mm}^2} = 0,827 \text{ N/mm}^2$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$A_{poer} = 2 \text{ m}^2 = 2000000 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 0,237 \text{ m}^2 = 237000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_u &= P_u \times A_t \\ &= 0,827 \text{ N/mm}^2 \times 237000 \text{ mm}^2 \\ &= 195949 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari ketiga perhitungan geser pons 1 arah didapatkan nilai  $V_u$  terbesar yaitu  $V_u = 195949 \text{ N}$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1

gaya geser yang mampu dipikul oleh beton  $V_c$  (N)

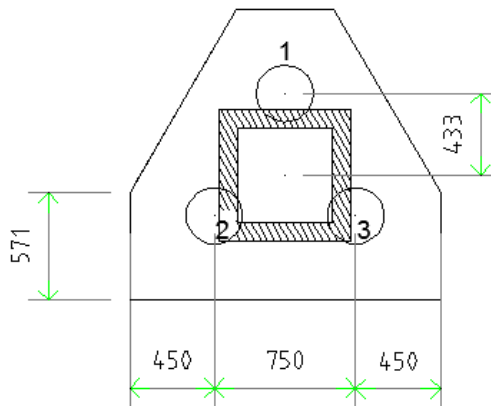
$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_{cx}} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 1650 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm} \\ &= 791994 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 195949 \text{ N} &\leq 0,75 \cdot 791994 \text{ N} \\ 195949 \text{ N} &\leq 593995 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka berdasarkan cek geser pons 1 arah, h rencana telah memenuhi syarat

## Perhitungan geser 2 arah

Luasan tributari  $A_t(\text{mm}^2)$ 

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_{\text{poer}} - ((h_{\text{kolom}} + \text{tebal poer}) \times (b_{\text{kolom}} + \text{tebal poer})) \\
 &= 2000000 \text{ mm}^2 - ((500 \text{ mm} + 515,5 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} + 515,5 \text{ mm})) \\
 &= 2000000 \text{ mm}^2 - 1210000 \text{ mm}^2 \\
 &= 971759 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 0,827 \text{ N/mm}^2 \times 971759 \text{ mm}^2 \\
 &= 803442 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned}
 b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\
 &= 4 \cdot (0,5 d + b_{\text{kolom}} + 0,5 d) \\
 &= 4 \cdot (0,5 \cdot 515,5 \text{ mm} + 500 \text{ mm} + 0,5 \cdot 515,5 \text{ mm}) \\
 &= 4062 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \\
 &= 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 4062 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm} \\
 &= 5849239 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 803442 \text{ N} &\leq 0,75 \cdot 5849239 \text{ N} \\ 803442 \text{ N} &\leq 4386929 \text{ N (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Persamaan 2

$$V_c = 0,083 \left( \frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= 4 \cdot (0,5 d + b \text{ kolom} + 0,5 d) \\ &= 4 \cdot (0,5 \cdot 515,5 \text{ mm} + 500 \text{ mm} + 0,5 \cdot 515,5 \text{ mm}) \\ &= 4062 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a_s = 40$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \left( \frac{a_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \\ &= 0,083 \left( \frac{40 \times 515,5}{4062 \text{ mm}} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 4062 \times 515,5 \\ &= 6736194 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_c \\ 803442 \text{ N} &\leq 0,75 \cdot 6736194 \text{ N} \\ 803442 \text{ N} &\leq 5051155 \text{ N (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Persamaan 3

$$V_c = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\ &= 4 \cdot (0,5 d + b \text{ kolom} + 0,5 d) \\ &= 4 \cdot (0,5 \cdot 515,5 \text{ mm} + 500 \text{ mm} + 0,5 \cdot 515,5 \text{ mm}) \\ &= 4062 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \\ &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 4062 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 3784802 \text{ N}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$803442 \text{ N} \leq 0,75 \cdot 3784802 \text{ N}$$

$$803442 \text{ N} \leq 2838601 \text{ N (memenuhi)}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser pons

#### f. Cek Terhadap Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.5 untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir yang dibengkokkan 90 derajat ,ldh harus diambil sebesar yang terbesar dari  $0,24F_y/(\lambda\sqrt{f_c'}) d$  , dan  $(0,043.f_y) d$  dan ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas batang tulangan.

$$0,24F_y/(\lambda\sqrt{f_c'}) d \geq (0,043.f_y) d$$

$$0,24 \times 400 / (1 \times \sqrt{30}) \times 19 \geq (0,043 \times 400) \times 19$$

$$333,02 \text{ mm} \geq 327 \text{ mm}$$

$$12 \text{ db} = 12 \cdot 19 \text{ mm}$$

$$= 228 \text{ mm}$$

Jadi berdasarkan perhitungan diatas direncanakan Ldh sebesar 350 mm dan perpanjangan ujung bebas sebesar 250 mm

$$\text{Total panjang penyaluran} = 350 \text{ mm} + 250 \text{ mm}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

Sehingga dalam perencanaan d harus lebih besar dari 350 mm dan h sebesar :

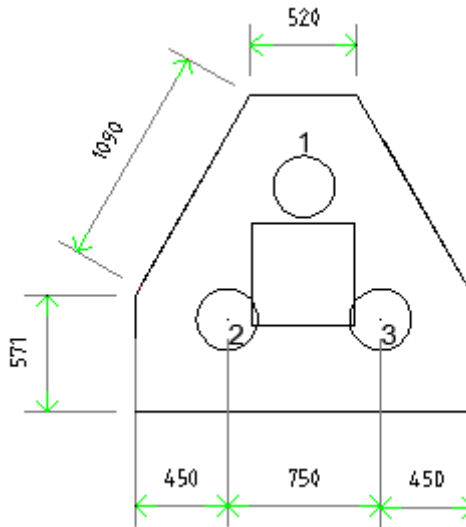
$$h = 350 \text{ mm} + \text{selimut beton} + \text{diameter tulangan} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan}$$

$$= 350 \text{ mm} + 75 \text{ mm} + 19 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm}$$

$$= 453,5 \text{ mm}$$

## f. Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap (Poer)

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada tepi kolom yang dibebani oleh reaksi bor pile dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban sementara lebih besar daripada P beban tetap. Diketahui dimensi poer sebagai berikut:

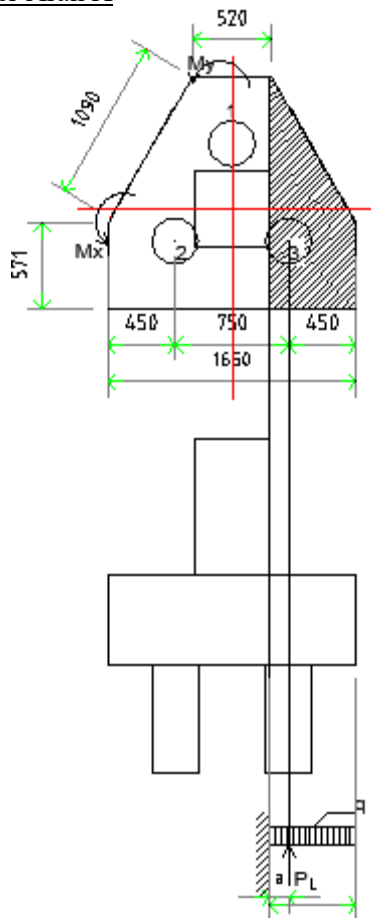


## Data Perencanaan

Jumlah bor pile	= 3 buah	
Dimensi kolom	= 50 cm x 50 cm	
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa	
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 Mpa	
Diameter tulangan utama	= 19 mm	
Selimut beton ( $p$ )	= 75 mm	
$h$	= 600 mm	
$dx$	= $700 - 50 - (1/2 \times 19)$	= 515,5 mm
$dy$	= $700 - 50 - 19 - (1/2 \times 19)$	= 496,5 mm
$\phi$	= 0,9	



### Penulangan Poer Arah X



**Gambar 4. 75 Mekanika gaya pada poer arah X**

$$\begin{aligned}
 q_u &= \text{berat poer} &= \text{Luas Arsiran} \times 2400 \text{ kg/m} \times \text{tebal poer} \\
 & &= 0,614 \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \\
 & &= 885,6 \text{ kg} \\
 P_{\text{tiang}} & &= 75435 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$L = 0,575 \text{ m}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} Mu &= -(qu \times \frac{1}{2} L) + (P. \text{ As tiang ke tepi kolom}) \\ &= -(885,6 \text{ kg.} \times \frac{1}{2} \times 0,575 \text{ m}) + (75435 \text{ kg.} \times 0,125 \text{ m}) \\ &= 9174,8 \text{ kgm} \\ &= 91748000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Mn = \frac{91748000 \text{ Nmm}}{0,9} = 101942243,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{101942243,4}{550 \times 496,5^2} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,31}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0008$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,000006 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$  maka  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0008 = 0,001$$

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 0,001 \times 1550 \text{ mm} \times 496,5 \text{ mm} \\ &= 839,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1550 \times 496,5}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 2693,513 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

maka  $A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1550}{2693,513}$$

$$S = 163,15 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-150

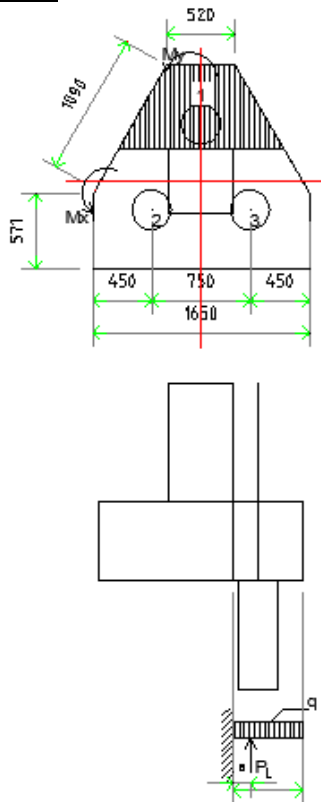
$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1550}{150}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 2929,79 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 2929,79 \text{ mm}^2 \geq 2693,513 \text{ mm}^2$$

### Penulangan Poer Arah Y



**Gambar 4. 76 Mekanika gaya pada poer arah Y**

$$\begin{aligned} q_u = \text{berat poer} &= \text{Luas Arsiran} \times 2400 \text{ kg/m} \times \text{tebal poer} \\ &= 0,56 \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 806,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{\text{ltiang}} = 75435 \text{ kg}$$

$$L = 0,633 \text{ m}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= -(q_u \times \frac{1}{2} L) + (P. \text{ As tiang ke tepi kolom}) \\ &= -(885,6 \text{ kg.} \times (\frac{1}{2} \times 0,633 \text{ m})) + (75435 \text{ kg.} \times 0,183 \text{ m}) \\ &= 15900,25 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$= 159002500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{159002500 \text{ Nmm}}{0,9} = 176669452,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{176669452}{1650 \times 515,5^2} = 0,4 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85.30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,4}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,001$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0008 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,001 = 0,0013$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0013 \times 1650 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm} \\ &= 1122,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1650 \times 515,5}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 2977,01 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1  $A_s$  yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{2977,01}$$

$$S = 157 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-150

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{150}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 3118,82 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 3118,82 \text{ mm}^2 \geq 2977,01 \text{ mm}^2$$

### 4.6.3 Perhitungan Pondasi Tipe 3

Diketahui :

Output SAP 2000 pada joint 671 (AS -3D)

- Akibat beban tetap (1,0DL + 1,0LL)

$$P_1 = 64,349 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ex)

$$P_1 = 34,584 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL -1Ex)

$$P_1 = 94,762 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ey)

$$P_1 = 53,841 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL - 1Ey)

$$P_1 = 74,856 \text{ Ton}$$

Output SAP 2000 pada joint 911 (AS -3D)

- Akibat beban tetap (1,0DL + 1,0LL)

$$P_2 = 65,033 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ex)

$$P_2 = 89,834 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL -1Ex)

$$P_2 = 40,232 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL + 1Ey)

$$P_2 = 45,481 \text{ Ton}$$

- Akibat beban sementara (1DL + 1LL - 1Ey)

$$P_2 = 84,617 \text{ Ton}$$

Dari output SAP didapatkan P max untuk  $P_1 = 94,762 \text{ Ton}$  dan  $P_2 = 89,834 \text{ Ton}$

Sehingga

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_1 + P_2 \\ &= 94,762 \text{ Ton} + 89,834 \text{ Ton} \\ &= 191,131 \text{ ton} \end{aligned}$$

### a. Perencanaan Dimensi Poer

Pada perencanaan pondasi bor pile dalam menghitung jarak antar bor pile (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar bor pile (S)

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \geq 2,5 \times 30 \text{ cm}$$

$$S \geq 75 \text{ cm} \quad \text{Maka dipakai } S = 75 \text{ cm}$$

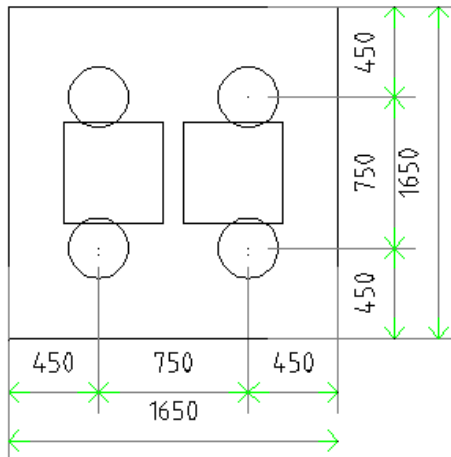
Perhitungan jarak bor pile ke tepi poer (S')

$$S' = 1,5 D$$

$$S' = 1,5 \times 30 \text{ cm}$$

$$S' = 45 \text{ cm} \quad \text{Maka dipakai } S = 45 \text{ cm}$$

Dapat disimpulkan ukuran poer sebagai berikut:



$$A \text{ poer} = 1,65 \times 1,65 \text{ m}^2$$

$$\text{Tebal poer} = 0,6 \text{ m}$$

### b. Perhitungan Kebutuhan Bor pile

$$\text{Berat poer} = A \cdot t \text{ poer} \cdot B_j$$

$$= 1,65 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3$$



$$= 6534 \text{ kg}$$

Perhitungan jumlah tiang

Akibat beban tetap (1D+ 1L)

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{135,916 + 6534}{82,3} = 1,76 \approx 2$$

Akibat beban sementara (1D+1L+1E)

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{191131 + 6534}{82,3} = 3,1 \approx 4$$

c. Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi

Dari output program analisis struktur ditinjau joint 6119 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

$$Effisiensi = 1 - Arctag \frac{0,3}{0,75} \left[ \frac{(1 - 1)2 + (2 - 1)1}{90 \times 2 \times 1} \right]$$

$$Effisiensi = 0,76$$

$$P_{ijin \text{ tanah}} = \eta \times P_{ijin}$$

$$= 0,76 \times 82,3 \text{ ton}$$

$$= 62,29 \text{ ton}$$

d. Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok

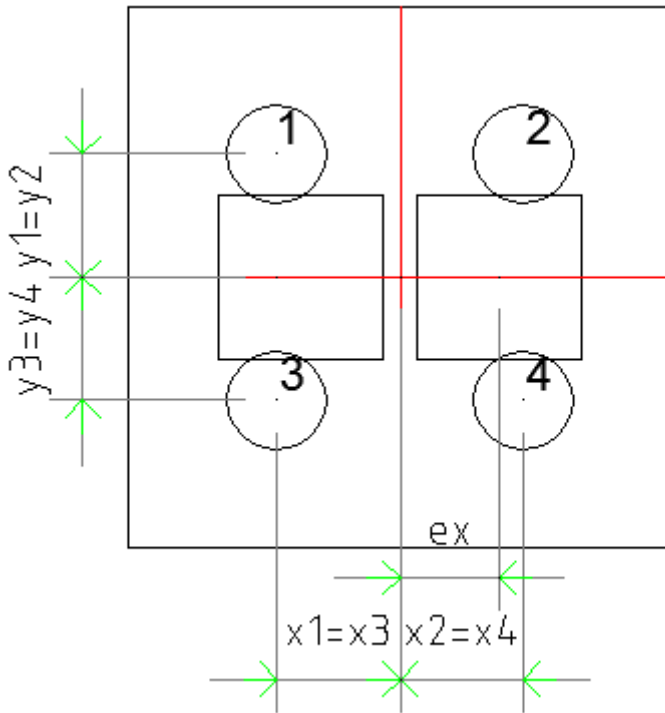
Dari output program analisis struktur ditinjau joint 659 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

Akibat beban sementara (D+L+E)

$$P = 191,131 \text{ Ton}$$

$$M_y = 8,728 \text{ Ton-m}$$

$$M_x = -6,586 \text{ Ton-m}$$



Tabel perhitungan jarak X dan Y

No	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>
1	-0,375	0,141	0,375	0,141
2	0,375	0,141	0,375	0,141
3	-0,375	0,141	-0,375	0,141
4	0,375	0,141	-0,375	0,141
	$\Sigma X^2$	0,563	$\Sigma Y^2$	0,563

Gaya yang dipikul masing masing bor pile. Pada  $M_x$  ditambah dengan  $P$  kolom. e karena ada momen akibat eksentrisitas kolom

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \left( \frac{(M_x + P_1 \cdot e - P_1 \cdot e) Y}{\Sigma Y^2} \right) \pm \left( \frac{M_y X}{\Sigma X^2} \right)$$

$$P_1 = \frac{191,131}{4} + \left( \frac{(-6,586 + 94,762 \cdot 0,3) \cdot 0,375}{0,281} \right) + \frac{8,728 \cdot -0,375}{0,188} = 53,79 \text{ Ton}$$

$$P_2 = \frac{191,131}{4} + \left( \frac{(-6,586 + 94,762 \cdot 0,3) \cdot 0,375}{0,281} \right) + \frac{8,728 \cdot 0,375}{0,188} = 54,23 \text{ Ton}$$

$$P_3 = \frac{191,131}{4} + \left( \frac{(-6,586 + 94,762 \cdot 0,3) \cdot -0,375}{0,281} \right) + \frac{8,728 \cdot -0,375}{0,188} = 30,97 \text{ Ton}$$

$$P_3 = \frac{191,131}{4} + \left( \frac{(-6,586 + 94,762 \cdot 0,3) \cdot -0,375}{0,281} \right) + \frac{8,728 \cdot 0,375}{0,188} = 13,40 \text{ Ton}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu bor pile adalah  $P = 54,23 \text{ Ton}$

Syarat :

$$P_{\max} (1 \text{ Tiang}) < P_{\text{ijin}} \cdot 1,3$$

$$54,23 \text{ Ton} < 80,97 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

e. Perhitungan Tebal Poer

Menghitung  $d$  (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai  $d$  terbesar di antara keduanya). Dalam perencanaannya tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana Vult adalah senilai dengan  $P_u$  hal ini terjadi karena pondasi yang digunakan adalah bor pile dan geser pons terjadi di poer, bukan pada pondasi, maka  $V_c$  diambil dari perhitungan berikut.

Data Perencanaan:

$$h \text{ rencana} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{tebal cover} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{dimensi tulangan poer} = 19 \text{ mm}$$

$$b \text{ kolom} = 500 \text{ mm}$$

$$h \text{ kolom} = 500 \text{ mm}$$

Tinggi efektif

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - (1/2 D) \\ &= 600 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - (1/2 \cdot 19 \text{ mm}) \\ &= 515,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pu max akibat beban sementara

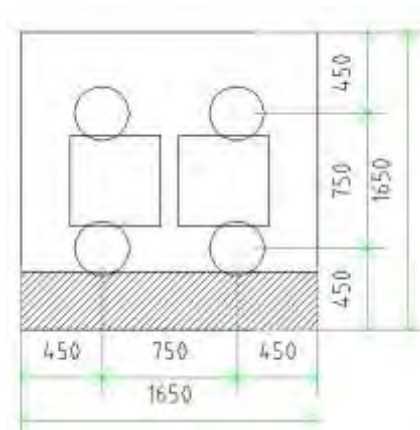
$$P = 191,13 \text{ Ton}$$

Cek Perhitungan Geser Pons 1 Arah

Luas Tributary 1

$$B = 1650 \text{ mm}$$

$$L = 1650 \text{ mm}$$



$$P_u = \frac{\Sigma P}{A_{poer}} = \frac{1911309 \text{ N}}{2722500 \text{ mm}^2} = 0,702 \text{ N/mm}^2$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$A_{poer} = 2 \text{ m}^2 = 2722500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} b_o &= \frac{1}{2} \cdot B - \frac{1}{2} \cdot b_{kolom} - \frac{1}{2} \cdot d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1650 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 750 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 515,5 \text{ mm} \\ &= 317,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_t = b_o \cdot B$$

$$= 317,25 \text{ mm} \cdot 1650 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 &= 523462,5 \text{ mm}^2 \\
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 0,827 \text{ N/mm}^2 \times 523462,5 \text{ mm}^2 \\
 &= 367492, \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan geser pons 1 arah didapatkan nilai  $V_u = 367492 \text{ N}$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1  
 gaya geser yang mampu dipikul oleh beton  $V_c$  (N)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 1650 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm} \\
 &= 791994 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_c \\
 367492 \text{ N} &\leq 0,75 \times 791994 \text{ N} \\
 367492 \text{ N} &\leq 593995 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka berdasarkan cek geser pons 1 arah, h rencana telah memenuhi syarat

Perhitungan geser 2 arah

Luasan tributri  $A_t$  (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_{\text{poer}} - ((h_{\text{kolom}} + d) \times (b_{\text{kolom}} + d)) \\
 &= 2722500 \text{ mm}^2 - ((500 \text{ mm} + 515,5 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} + 515,5 \text{ mm})) \\
 &= 2722500 \text{ mm}^2 - 1210000 \text{ mm}^2 \\
 &= 1691260 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= P_u \times A_t \\
 &= 0,827 \text{ N/mm}^2 \times 1691260 \text{ mm}^2 \\
 &= 1187335 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned}
 b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\
 &= 4. (0,5 d + b \text{ kolom} + 0,5 d) \\
 &= 4. (0,5. 515,5 \text{ mm} + 500 \text{ mm} + 0,5. 515,5 \text{ mm}) \\
 &= 4062 \text{ mm} \\
 V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d \\
 &= 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) x 1 x \sqrt{30 \text{ Mpa}} x 4062 \text{ mm} x 515,5 \text{ mm} \\
 &= 5849239 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_c \\
 1187335 \text{ N} &\leq 0,75. 5849239 \text{ N} \\
 1187335 \text{ N} &\leq 4386929 \text{ N (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Persamaan 2

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,083 \left( \frac{a_s x d}{b_o} + 2 \right) x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d \\
 b_o &= \text{keliling dari penampang kritis} \\
 &= 4. (0,5 d + b \text{ kolom} + 0,5 d) \\
 &= 4. (0,5. 515,5 \text{ mm} + 500 \text{ mm} + 0,5. 515,5 \text{ mm}) \\
 &= 4062 \text{ mm} \\
 a_s &= 40 \\
 V_c &= 0,083 \left( \frac{a_s x d}{b_o} + 2 \right) x \lambda x \sqrt{f_c} x b_o x d \\
 &= 0,083 \left( \frac{40 x 515,5}{4062 \text{ mm}} + 2 \right) x 1 x \sqrt{30 \text{ Mpa}} x 4062 x 515,5 \\
 &= 6736194 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_c \\
 1187335 \text{ N} &\leq 0,75. 6736194 \text{ N} \\
 1187335 \text{ N} &\leq 5051155 \text{ N (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Persamaan 3

$$V_c = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$$= 4. (0,5 d + b \text{ kolom} + 0,5 d)$$

$$= 4. (0,5. 515,5 \text{ mm} + 500 \text{ mm} + 0,5. 515,5 \text{ mm})$$

$$= 4062 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d$$

$$= 0,33 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 4062 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm}$$

$$= 3784802 \text{ N}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1187335 \text{ N} \leq 0,75. 3784802 \text{ N}$$

$$1187335 \text{ N} \leq 2838601 \text{ N (memenuhi)}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser pons

f. Cek Terhadap Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.5 untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir yang dibengkokkan 90 derajat ,ldh harus diambil sebesar yang terbesar dari  $0,24F_y/(\lambda\sqrt{f_c'}) d$  , dan  $(0,043.f_y) d$  dan ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas batang tulangan.

$$0,24F_y/(\lambda\sqrt{f_c'}) d \geq (0,043.f_y) d$$

$$0,24 \times 400 / (1 \times \sqrt{30}) \times 19 \geq (0,043 \times 400) \times 19$$

$$333,02 \text{ mm} \geq 327 \text{ mm}$$

$$12 \text{ db} = 12. 19 \text{ mm}$$

$$= 228 \text{ mm}$$

Jadi berdasarkan perhitungan diatas direncanakan Ldh sebesar 350 mm dan perpanjangan ujung bebas sebesar 250 mm

$$\text{Total panjang penyaluran} = 350 \text{ mm} + 250 \text{ mm}$$

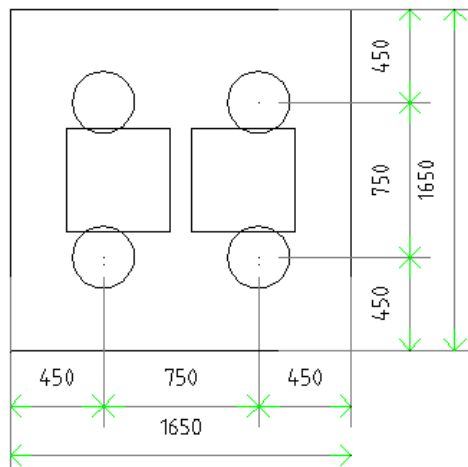
$$= 600 \text{ mm}$$

Sehingga dalam perencanaan  $d$  harus lebih besar dari 350 mm dan  $h$  sebesar :

$$\begin{aligned} h &= 350 \text{ mm} + \text{selimut beton} + \text{diameter tulangan} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan} \\ &= 350 \text{ mm} + 75 \text{ mm} + 19 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 453,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

f. Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap (Poer)

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada tepi kolom yang dibebani oleh reaksi bor pile dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan  $P$  beban sementara lebih besar daripada  $P$  beban tetap. Diketahui dimensi poer sebagai berikut:



Data Perencanaan

Jumlah bor pile	= 3 buah
Dimensi kolom	= 50 cm x 50 cm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 Mpa



Diameter tulangan utama = 19 mm

Selimut beton (p) = 75 mm

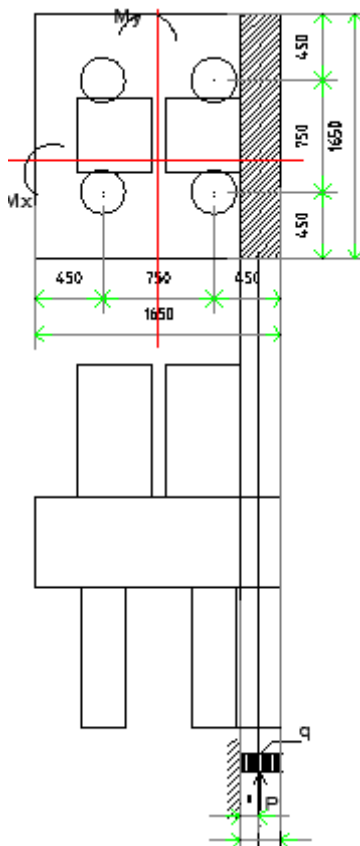
h = 600 mm

dx =  $600 - 75 - (1/2 \times 19)$  = 515,5 mm

dy =  $600 - 75 - 19 - (1/2 \times 19)$  = 496,5 mm

$\phi$  = 0,9

### Penulangan Poer Arah X



**Gambar 4. 77 Mekanika gaya pada poer arah X**

$$\begin{aligned}
 \text{qu} = \text{berat poer} &= \text{Luas Arsiran} \times 2400 \text{ kg/m} \times \text{tebal poer} \\
 &= 0,29 \text{ m} \times 1,65 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \\
 &= 689,04 \text{ kg} \\
 P_{\text{ltiang}} &= 52812,93 \text{ kg} \\
 L &= 0,29 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned}
 M_u &= -(q_u \times \frac{1}{2} L) \\
 &= -(689,04 \text{ kg} \times (\frac{1}{2} \times 0,29 \text{ m})) \\
 &= 99,9 \text{ kgm} \\
 &= 999108 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{999108 \text{ Nmm}}{0,9} = 1110120 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{1110120}{550 \times 496,5^2} = 0,02 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,02}{400}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0008$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,000006 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,0008 = 0,001$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,001 \times 1550 \text{ mm} \times 496,5 \text{ mm}$$

$$= 839,86 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1550 \times 496,5}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 2693,513 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1550}{2693,513}$$

$$S = 163,15 \text{ mm} \quad S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-150

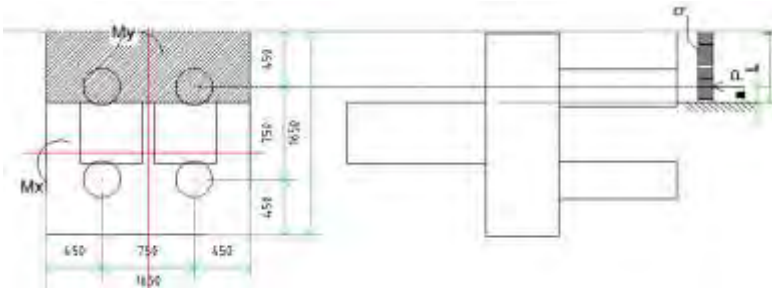
$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1550}{150}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 2929,79 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 2929,79 \text{ mm}^2 \geq 2693,513 \text{ mm}^2$$

Penulangan Poer Arah Y



**Gambar 4. 78 Mekanika gaya pada poer arah Y**

$$\begin{aligned}
 q_u &= \text{berat poer} &= \text{Luas Arsiran} \times 2400 \text{ kg/m} \times \text{tebal poer} \\
 & &= 0,575 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \\
 & &= 1366,2 \text{ kg} \\
 P_{\text{tiang}} & &= 52812,9 \text{ kg} \\
 L & &= 0,575 \text{ m} \\
 a & &= 0,125 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned}
 M_u &= (- (q_u \times \frac{1}{2} L) + (P_{\text{As tiang ke tepi kolom}})) \\
 &= (- (1366,2 \text{ kg} \cdot \frac{1}{2} \times 0,575 \text{ m})) + (52812,9 \text{ kg} \cdot 0,125 \text{ m}) \\
 &= 6208,83 \text{ kgm} \\
 &= 62088300 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{62088300 \text{ Nmm}}{0,9} = 68987049,7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{68987049,7}{1650 \times 515,5^2} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,4}{400}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,001$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$  dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0008 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,001 = 0,0013$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0013 \times 1650 \text{ mm} \times 515,5 \text{ mm} \\ &= 1122,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$\begin{aligned} A_{s_{\min}} &= \frac{1,4 \times b w \times d}{f_y} \\ A_{s_{\min}} &= \frac{1,4 \times 1650 \times 515,5}{400} \end{aligned}$$

$$A_{s_{\min}} = 2977,01 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1  $A_s$  yang tersedia tidak boleh kurang dari  $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{2977,01}$$

$$S = 157 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-150

$$A_{s_{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$A_{s_{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1650}{150}$$

$$A_{s_{pasang}} = 3118,82 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}} = 3118,82 \text{ mm}^2 \geq 2977,01 \text{ mm}^2$$

#### 4.6.4 Penulangan Borpile

##### Data Perencanaan :

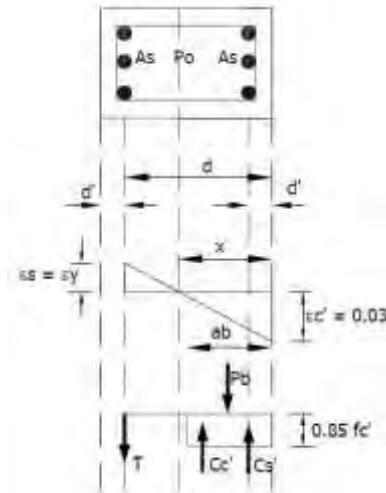
diameter	: 300 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_y$ geser)	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 10 mm
Tebal selimut beton (t decking)	: 50 mm
Faktor $\beta_1$	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ )	: 0,65
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	: 0,75
Tinggi efektif kolom	
d	= b- decking- $\emptyset$ sengkang - $\frac{1}{2}$ D tul. Lentur
	= 300 mm- 50 mm- 13 mm- $\frac{1}{2}$ 16 mm
	= 229 mm
d'	= decking + $\emptyset$ sengkang + $\frac{1}{2}$ D tul.lentur
	= 50 mm+ 13 mm+ $\frac{1}{2}$ . 16 mm
	= 71 mm
d''	= b- decking- sengkang - $\frac{1}{2}$ D tul.lentur - $\frac{1}{2}$ b
	= 300 mm-50 mm- 13 mm- $\frac{1}{2}$ .16mm- $\frac{1}{2}$ .300mm
	= 79 mm

Diketahui gaya 1 tiang adalah sebagai berikut :

$$P = 754353 \text{ N}$$

$$M_x = 26890433 \text{ Nmm}$$

### Cek Kondisi Balance



Direncanakan tulangan 8 D 16

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 8 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 1608,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 229 \text{ mm}$$

$$d' = 71 \text{ mm}$$

$$d'' = 79 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \\ &= \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} 229 \text{ mm} \\ &= 137,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \cdot X_b \\ &= 0,85 \cdot 137,4 \text{ mm} \\ &= 116,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 f_c') \\ &= 1608,49 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 602381 \text{ N} \\
T &= A_s \cdot F_y \\
&= 1608,49 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \\
&= 643398 \text{ N} \\
Cc' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot B \cdot X_b \\
&= 0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 137,4 \text{ mm} \\
&= 893443 \text{ N} \\
\Sigma V &= 0 \\
P_b &= Cc' + Cs' - T \\
&= 893443 \text{ N} + 602381 \text{ N} - 643398 \text{ N} \\
&= 852426 \text{ N} \\
M_b &= P_b \cdot e_b \\
&= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
&= 893443 \text{ N} \cdot \left( 229 - 79 - \frac{116,79}{2} \right) + 602381 \text{ N} \cdot (229 - 79 - 71) + 643398 \text{ N} \cdot 71 \text{ mm} \\
&= 128087856 \text{ Nmm} \\
e_b &= \frac{M_b}{P_b} \\
&= \frac{128087856 \text{ Nmm}}{852426 \text{ N}} \\
&= 150,26 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tarik Menentukan)

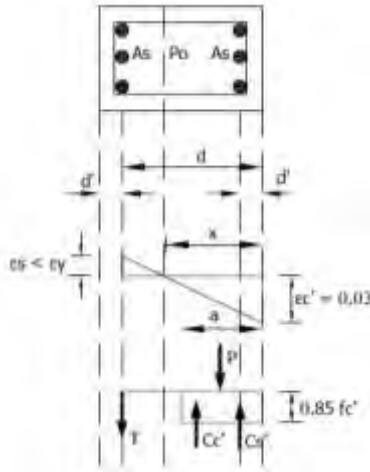
Karena  $e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$

$24 \text{ mm} < 35,64 \text{ mm} < 206,865 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan



Kontrol kondisi tekan menentukan



Direncanakan X sebesar 150 mm

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0016\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{275 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 361,09 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200.000 \text{ Mpa}} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :  $\epsilon_s < \epsilon_y$   
 $0,0016 < 0,002..$  (memenuhi)  
 $f_s < f_y$

$$361,09 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s'(f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 1608,49 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}) \\ &= 602381 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 300 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \\ &= 975375 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 1608,49 \text{ mm}^2 \left( \frac{229 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 508284 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= C_c' + C_s' - T \\ &= 975375 \text{ N} + 602381 \text{ N} - 508284 \text{ N} \\ &= 1069472 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P &> P_b \\ 1069472 \text{ N} &> 852426 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

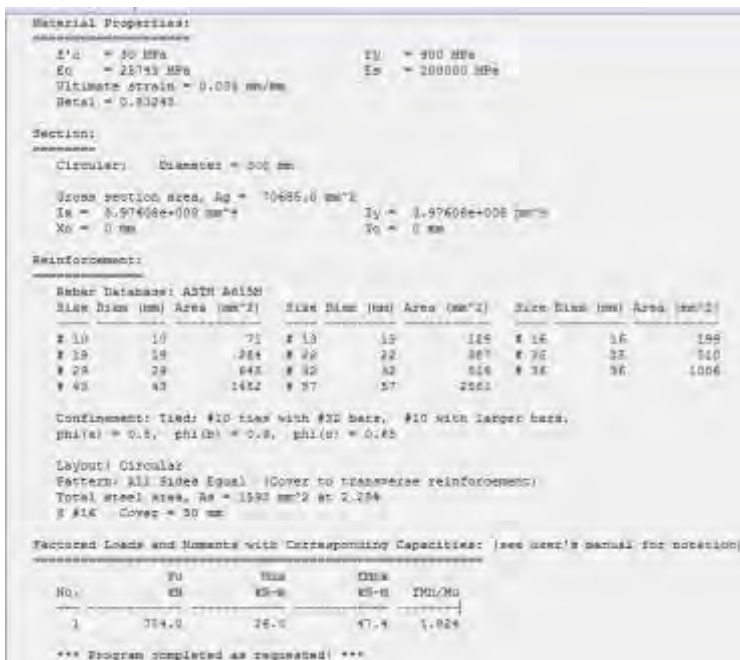
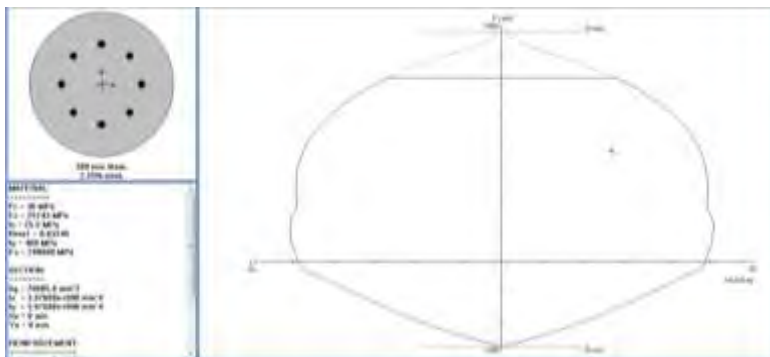
$$\begin{aligned} M_n &= C_c' \left( d - d'' - \frac{\beta_1 X}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\ &= 975375 \text{ N} \cdot \left( 229 - 79 - \frac{116,79}{2} \right) + \\ &\quad 602381 \text{ N} \cdot (229 - 79 - 71) + 508284 \text{ N} \cdot 71 \text{ mm} \\ &= 171868716 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,65 \cdot 171868716 \text{ Nmm} \\ &= 111714665 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek syarat :

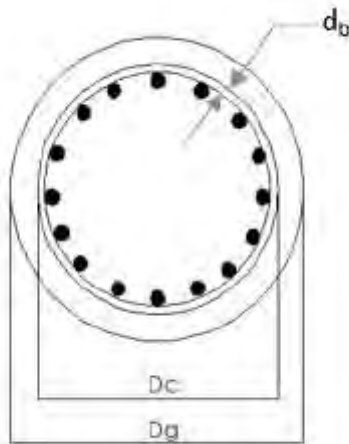
$$\begin{aligned} \phi M_{n_{\text{pasang}}} &> M_n \\ 111714665 \text{ Nmm} &> 41369897 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

Cek dengan PCA column



Dari hasil PCA col diperoleh tulangan 8 D 16 sebesar 2,25 %

## Penulangan Geser



### Data Percobaan

$d_b$  = 13 mm

$f_c'$  = 30 Mpa

$f_{yt}$  = 400 Mpa

$D_g$  = 300 mm

Tebal selimut = 50 mm

$D_c$  = 250 mm

Rasio tulangan spiral berdasarkan pasal 10.9.3 SNI 03-2847-2013

$$\rho_s = 0,45 \cdot \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \cdot \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

dengan:

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan geser (as}_v) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_b^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \\ &= 132,73 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas bruto (Ag)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_g^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 300^2 \\ &= 70685,83 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Ach} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_c^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 200^2 \\ &= 31415,93 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi} \quad \rho_s &= 0,45 \cdot \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \cdot \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ &= 0,45 \cdot \left( \frac{70685,83 \text{ mm}^2}{31415,93 \text{ mm}^2} - 1 \right) \cdot \frac{30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \\ &= 0,04218\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{as \cdot \pi \cdot (D_c - d_b)}{\left( \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} \right) \cdot \rho_s} \\ &= \frac{132,73 \text{ mm} \cdot \pi \cdot (250 \text{ mm} - 13 \text{ mm})}{\left( \frac{\pi \cdot 250^2}{4} \right) \cdot 0,04218}\end{aligned}$$

$$= 58,83 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$$

$$\text{Smax} = 75 \text{ mm}$$

Jadi pada borpile dipasang tulangan geser Ø13-50





#### Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200 ; 400
Tebal, T (mm)	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200
Berat jenis kering, ( $\rho$ )	: 530 kg/m <sup>3</sup>
Berat jenis normal, ( $\rho$ )	: 600 kg/m <sup>3</sup>
Kuat tekan, ( $\sigma$ )	: $\geq 4.0$ N/mm <sup>2</sup>
Konduktivitas termis, ( $\lambda$ )	: 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m <sup>3</sup>	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

#### Citicon Light Concrete Technical Specifications

Length, L (mm)	: 600
Height, H (mm)	: 200 ; 400
Thick, T (mm)	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Dry Density, ( $\rho$ )	: 530 kg/m <sup>3</sup>
Field Density, ( $\rho$ )	: 600 kg/m <sup>3</sup>
Compressive Strength, ( $\sigma$ )	: $\geq 4.0$ N/mm <sup>2</sup>
Thermal Conductivity, ( $\lambda$ )	: 0.14 w/mk

Thick	mm	75	100	125	150	175	200
Wall Area / m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Contents / m <sup>3</sup>	Block	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67



# DINDING



## ◆ Plester D200

- Digunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata, ketebalan aplikasi 8-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik
- Daya sebar/ak  $\approx 2-2,5 \text{ m}^2/10 \text{ mm}$



40kg

## Acian dinding dan plester



## ◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk expose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/ak  $\approx 10-12 \text{ m}^2/2 \text{ mm}$

30kg



## ◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/ak  $\approx 10-12 \text{ m}^2/2 \text{ mm}$
- 5-7 hari bisa langsung di cat

30kg



## Acian dinding plester dan beton



## ◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/ak  $9-12 \text{ m}^2/30 \text{ kg}$

30kg



## ◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekspas dari beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa plamir dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/ak  $9-11 \text{ m}^2/20 \text{ kg}$

20kg



## ◆ Thinbed 101 TB101

- Pelekat bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar/ak  $\approx 10-11 \text{ m}^2/3 \text{ mm}$  (40 kg) (ukuran blok  $20 \times 60 \times 10 \text{ cm}$ )
- Cepat dalam pengeringannya



40kg

Khusus Bata Ringan

## ◆ Plester Ringan 1.6 S150

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester bata ringan
- Daya sebar/ak  $\approx 4,5-6,5 \text{ m}^2/5-8 \text{ mm}$  (50 kg) (ukuran blok  $20 \times 60 \times 10 \text{ cm}$ )
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



50kg

## Produk lainnya

## ◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan pelekatsbonding dinding plester antara permukaan beton
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll
- Tebal aplikasi 3-15 mm

25kg  
40kg



## ◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

## ◆ Bonding Agent L007

Bonding untuk beton dan mortar



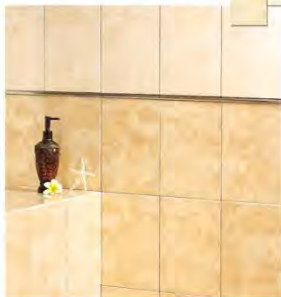
1L

[www.drymix.co.id](http://www.drymix.co.id)





# 30 x 30



## TECHNICAL DATA

ARWANA Ceramic Tiles

DESCRIPTION	UNIT	FLOOR TILE ARWANA	ISO	UNIT	WALL TILE ARWANA	ISO
Size Tolerance	%	+/- 0.5	+/- 0.6	%	(-0.2 - (+0.52))	(-0.3 - (+0.8))
Thickness Tolerance	%	+/- 4.0	+/- 5.0	%	+/- 4.0	+/- 10
Rectangularity	%	+/- 0.4	+/- 0.6	%	+/- 0.3	+/- 0.3
Straightness of sides	%	+/- 0.4	+/- 0.5	%	+/- 0.3	+/- 0.3
Curvature						
a. Center Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	(-0.2 - (+0.8))	(-0.2 - (+0.8))
b. Edge Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	(-0.2 - (+0.8))	(-0.2 - (+0.8))
c. Warpage	%	+/- 0.5	+/- 0.5	mm	6.5	0.5
Modulus of Rupture	kg/cm <sup>2</sup>	min 200	180	kg/cm <sup>2</sup>	min 200	min 150
Water Absorption	%	8 - 9	6 < E < 10	%	> 10	> 10
Crazing Resistance		Required	Required		Required	Required
		(5 bar)	(5 bar)		(5 bar)	(5 bar)

### Arwana Ceramic tiles packing information

SIZE (cm)	QTY./BOX	M <sup>2</sup> /BOX	WT. KG/BOX
20cm x 20cm	25	1	13-14
20cm x 25cm	20	1	12
30cm x 30cm	11	1	14-15
40cm x 40cm	6	1	15.5-16.5



## Contact us :

### Head Office:

**PT ARWANA CITRAMULLA TMA**  
Sentra Niaga Puri Indah Blok T2 No. 24  
Kembangan Selatan, Jakarta 11610  
Phn: +62 21 5830 2363  
Fax: +62 21 5830 2361  
E-mail: info@arwanacitra.com  
Website: www.arwanacitra.com

### Sole Distributor

**PT PRIMAGRAHA KERAMINDO**  
Sentra Niaga Puri Indah Blok T3 No. 16-17  
Kembangan Selatan, Jakarta 11610  
Phn: +62 21 5835 8118  
Fax: +62 21 5835 8008  
E-mail: info@pgk.arwanacitra.com

### Factories

**PLANT I:**  
**PT ARWANA CITRAMULLA (ACM)**  
Jl. Raya Pasar Kemis  
Tangerang 15133, Banten  
Phn: +62 21 5903555 Fax: +62 21 5903461  
Email: info@acm.arwanacitra.com

**PLANT II:**  
**PT ARWANA NUANSA KERAMIK (ANK)**  
Jl. Raya Ganda, Desa Klon Km 01  
Cikande - Serang, Banten  
Phn: +62 254 400365-67 Fax: +62 254 400364  
Email: info@ank.arwanacitra.com

**PLANT III:**  
**PT SINGAR KARYA DUTA ARADI (SKDA)**  
Jl. Wringin Anson Raya Km. 33  
Desa Wringin Anson, Kls. Gresik  
Jawa Timur  
Phn: +62 31 8982225-26 Fax: +62 31 8981679  
Email: info@skda.arwanacitra.com

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Hasil Perhitungan:

#### a. Struktur Atap

- Gording menggunakan profil LLC 150.50.20.3,2
- Penggantung menggunakan Ø 10 mm
- Ikatan Angin menggunakan Ø 10 mm
- Kuda-kuda menggunakan profil WF 300.150.6,5.9
- Kolom pendek menggunakan profil WF 250.250.14.14

#### b. Struktur Sekunder

- Pelat

Tebal pelat = 12 cm

Tipe	Lx m	Ly m	Ly/Lx	Arah	Kesimpulan				Tul. Susut
					Lap x	Lap y	Tump x	Tump y	
					mm	mm	mm	mm	
1	4	4	1,0	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
2	2,2	3	1,4	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
3	3	4	1,3	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
4	3	3	1,0	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
5	3,4	4	1,2	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
6	3	3,4	1,1	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
7	2,2	3,5	1,6	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
8	3	3,5	1,2	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
9	3,5	4	1,1	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
PA 1	1,7	8	4,7	satu	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
PA 2	1,7	3	1,8	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200
PA 3	1,7	1,7	1,0	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-200	Ø8-200

- Tangga dan Bordes

Tebal Pelat = 15 cm

Type Tangga	Tanjakan	Injakan	Kemiringan	Arah	Tulangan Tangga	Tulangan an Bordes
	cm	cm	°			
1	18	30	30,9	x	Ø8-200	Ø8-150
				y	Ø8-150	Ø8-150

- Balok Anak dan Balok Bordes

Type Balok	Bentang m	Dimensi cm	Tulangan Torsi	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
				Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BA	4	30/50	4Ø 10	4D 22	2D 22	2D 22	2D 22	Ø10-100	Ø10-200
BB	3,5	30/50	4D 13	4D 22	2D 22	2D 22	2D 22	Ø10-100	Ø10-200

b. Struktur Primer

- Balok Induk dan Sloof

Type Balok	Bentang m	Dimensi cm	Tulangan Torsi	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
				Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
B1	8	40/60	4D 10	7D 22	3D 22	3D 22	2D 22	Ø10-100	Ø10-200
S1	8	40/60	4D 10	5D 22	5D 22	3D 22	3D 22	Ø10-125	Ø10-200

### c . Struktur Pondasi

Diameter borpile = 30 cm

Kedalaman = 10 m

Type	Tulangan Borpile		Tulangan Pile Cap	
	Memanjang	Geser	Arah X	Arah Y
1	8 D16	Ø13-50	D19-150	D19-150
2	8 D16	Ø13-50	D19-150	D19-150
3	8 D16	Ø13-50	D19-150	D19-150

### 5.2 Saran

Sebelum mengerjakan Tugas Akhir hendaknya menyusun sistematika penulisan Tugas Akhir secara urut dan keseluruhan agar dalam pengerjaannya tidak ada yang terlupakan dan berjalan lancar.



## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, **“Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2013)”**, Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, **“Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726- 2012)”**, Jakarta, 2012.

Departemen Pekerjaan Umum, **“Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG)”**, Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.

Departemen Pekerjaan Umum, **“Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI)”**, Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum, 1971.

Departemen Pekerjaan Umum, **“ Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 1729 – 2002)”**.

Setiawan.Agus, **“Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD”**, Jakarta: Penerbit Erlangga, 2008.

Wang. Chu-Kia dan Charles G. Salmon, **“Desain Beton Bertulang Jilid 1 Dan 2 Edisi Keempat”**

## BIODATA PENULIS



**Kholif Novianti**, dilahirkan di Tuban, 24 November 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Hidayah tahun 2001, SDN Kebonagung tahun 2007, SMPN 1 Rengel tahun 2010, dan SMAN 1 Bojonegoro tahun 2013. Setelah lulus dari SMAN 1 Bojonegoro, penulis mengikuti tes masuk Program Diploma Teknik Sipil ITS dan diterima di program studi Diploma III Teknik Sipil pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113.030.111. Di program studi Diploma III Teknik Sipil ini, penulis mengambil bidang studi Bangunan Gedung. Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Sipil sebagai staff Riset dan Teknologi pada periode 2014-2014. Penulis juga pernah aktif dalam beberapa seminar yang pernah diadakan dikampus. Penulis sempat mengikuti Kerja Praktek di PT. PRAMBANAN DWIPAKA pada Proyek Pembangunan Fakultas Psikologi Universitas Surabaya (UBAYA).



## **BIODATA PENULIS**

**Sigit Prionggo**, dilahirkan di Blitar, 26 November 1994, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita tahun 2001, SDN Bacem 04 tahun 2007, SMPN 1 Ponggok tahun 2010, dan SMAN 1 Srengat tahun 2013. Setelah lulus dari SMAN 1 Srengat, penulis mengikuti tes masuk Program Diploma Teknik

Sipil ITS dan diterima di program studi Diploma III Teknik Sipil pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113.030.114. Di program studi Diploma III Teknik Sipil ini, penulis mengambil bidang studi Bangunan Gedung. Penulis pernah aktif dalam beberapa seminar yang pernah diadakan dikampus. Penulis sempat mengikuti Kerja Praktek di PT. PRAMBANAN DWIPAKA pada Proyek Pembangunan Fakultas Psikologi Universitas Surabaya (UBAYA).